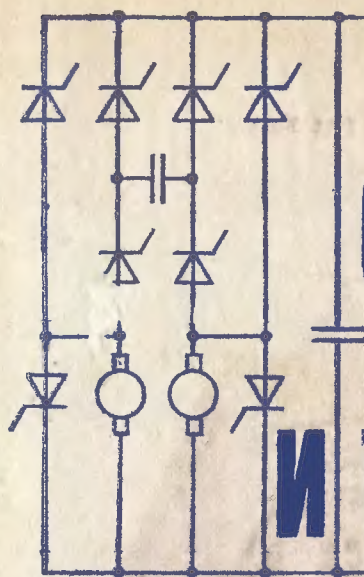




ЭЛЕКТРО- ОБОРУДОВАНИЕ ТРАМВАЕВ И ТРОЛЛЕЙБУСОВ



ИЗДАТЕЛЬСТВО
•ТРАНСПОРТ•

Корягина Е. Е., Коськин О. А. Электрооборудование трамваев и троллейбусов. Учебник для техникумов городского транспорта. — М.: Транспорт, 1982. — 296 с.

Рассмотрены конструкция и работа тягового электрооборудования трамваев и троллейбусов, описаны электрические схемы, а также системы управления современных типов электроподвижного состава городского транспорта. Предназначен для учащихся техникумов по специальности «Эксплуатация и ремонт городского электрического транспорта». Может быть полезен инженерно-техническим работникам, связанным с ремонтом и эксплуатацией трамваев и троллейбусов.

Ил. 134, табл. 11, библиогр. 13 назв.

Книгу написали:

Главы I—V, VII, VIII, XI — инж. Е. Е. Корягина, главы VI, IX, X — канд. техн. наук О. А. Коськин

Рецензенты: преподаватель Воронежского электромеханического техникума инж. Э. Н. Рахманин, гл. инж. Филевского автобусно-троллейбусного парка г. Москвы канд. техн. наук Л. Я. Коган

Заведующий редакцией Н. В. Зенькович

Редактор С. А. Каткова

SCANNED BY Sergei Semchenkov
Download from <http://bytrans.net>

К 3604000000-113
 049(01)-82 113-82

© Издательство «Транспорт» 1982

ОГЛАВЛЕНИЕ

Городской транспорт является неотъемлемой частью современных городов. Пассажирский транспорт общественного пользования в СССР перевозит свыше 40 млрд. пассажиров в год, в том числе трамваев и троллейбусов — около 19 млрд. пассажиров. Население 146 городов пользуется троллейбусом и 109 городов — трамваем, а всего наземный городской электрический транспорт эксплуатируется в 182 городах. Причем потребности населения СССР в городском электрическом транспорте с каждым годом возрастают.

На основе исследований и конструкторских разработок создаются новые типы подвижного состава трамвая и троллейбуса, обладающие высокими техническими и эксплуатационными показателями. Современные комфортабельные трамвайные вагоны и троллейбусы, поступающие в эксплуатацию, отличаются высокой надежностью всех основных узлов и агрегатов, плавностью хода, высокими динамическими качествами, привлекательным внешним видом.

В условиях быстрого развития и совершенствования городского электрического транспорта решающую роль играет подготовка квалифицированных кадров инженерно-технических работников, способных в короткие сроки освоить сложное электрооборудование подвижного состава, научиться понимать взаимодействие его элементов и поддерживать необходимый уровень технической готовности при эксплуатации.

В учебнике рассматриваются конструкции электрооборудования современного подвижного состава, принцип действия и работа электрических схем. Появление новых систем управления, построенных на полупроводниковой технике, требует освоения студентами нового, ранее не изучаемого материала. Поэтому в учебнике впервые изложены принципы, положенные в основу тиристорно-импульсных систем управления.

Авторы выражают глубокую признательность коллективу сотрудников Воронежского электромеханического техникума, в частности преподавателю Э. Н. Рахманину, и главному инженеру Филевского автобусно-троллейбусного парка, кандидату технических наук Л. Я. Когану за рецензирование рукописи. Авторы благодарны доктору технических наук, профессору Московского энергетического института И. С. Ефремову за ценные предложения по составлению плана учебника.

Отзывы, замечания и предложения просим направлять по адресу: Москва, 107174, Басманный туп., 6а, издательство «Транспорт».

ТЯГОВЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

На подвижном составе городского электрического транспорта применяют преимущественно электрические машины постоянного тока. В зависимости от системы возбуждения они классифицируются на машины с последовательным, параллельным и смешанным возбуждением.

Все электрические машины, устанавливаемые на трамвайных вагонах и троллейбусах, делятся на две основные группы. К первой группе относятся тяговые двигатели, предназначенные для преобразования электрической энергии постоянного тока в механическую, необходимую для приведения в движение трамвайных вагонов или троллейбусов. Ко второй группе относятся вспомогательные электрические машины — двигатели и генераторы. Вспомогательные двигатели служат для привода компрессоров, вентиляторов, генераторов низкого напряжения и других механизмов. Это двигатели в основном с последовательным возбуждением.

Электрические машины с параллельным возбуждением получили большое распространение в качестве приводов групповых переключателей (контроллеров) и генераторов электроэнергии вспомогательных нужд, которые служат для питания электрооборудования низкого напряжения, цепей управления и для подзарядки аккумуляторных батарей.

На троллейбусе обычно устанавливают один тяговый двигатель, рассчитанный на напряжение контактной сети 550 В.

На трамвайных вагонах число тяговых двигателей зависит от числа ведущих осей. Современные четырехосные трамвайные вагоны чаще всего имеют четыре тяговых двигателя, которые соединены в две группы. В каждой группе по два двигателя соединяются последовательно. При пуске и движении на небольших скоростях группы двигателей могут включаться последовательно, а затем для увеличения скорости движения — параллельно. Двигатели четырехосных трамвайных вагонов рассчитаны на половину напряжения контактной сети — 275 В, но изоляцию их выполняют на полное напряжение — 550 В.

В процессе работы двигатель нагревается, причем чем больше его нагрузка, тем больше потери мощности и нагрев электрической

машины. Допустимая полезная нагрузка электрической машины ограничивается главным образом ее нагревом. По условиям нагрева машина может быть нагружена кратковременно больше, чем длительно.

Полезная мощность, на которую рассчитана электрическая машина по условиям нагрева, называется номинальной. Эта мощность и другие величины, характеризующие работу машины в условиях, на которые она рассчитана, указываются на щитке, прикрепленном к ней.

Различают три основных номинальных режима работы электрической машины в зависимости от характера и длительности работы: продолжительный, кратковременный и повторно-кратковременный.

Номинальным режимом тягового двигателя принято считать часовой либо длительный режим, так как тяговые двигатели работают с резко меняющимися нагрузками и допустимое превышение температуры их частей может быть достигнуто как при кратковременном действии одной нагрузки, так и при длительном действии другой, несколько меньшей нагрузки.

Номинальным режимом вспомогательного двигателя считают длительный или повторно-кратковременный режим, так как эти машины работают с практически неизменной нагрузкой непрерывно или с регулярными перерывами и последующими включениями.

При номинальном длительном режиме машина должна работать неограниченное время, причем превышение температуры отдельных частей не должно выходить за допустимые пределы. Длительная нагрузка тем больше, чем больше теплоотдача электрической машины. Работоспособность тягового двигателя в условиях резко меняющейся нагрузки ограничена не только его теплоотдачей, но и теплоемкостью. Поэтому для тяговых двигателей должна быть известна временная перегрузочная способность по условию нагревания, определяемая его теплоемкостью. Временная перегрузочная способность характеризуется условно часовым током двигателя. Таким образом, работоспособность тягового двигателя по условию нагрева характеризуется и часовым током.

Тепловые свойства тягового двигателя характеризуются разностью температур двигателя и окружающей среды. Допустимые превышения температуры частей двигателя зависят от класса изоляции:

Класс изоляции	В	Г	Н
Допустимые превышения температуры обмоток, °С:			
якоря	120	140	160
возбуждения	130	155	180

При номинальном кратковременном режиме электрическая машина должна работать в течение времени, указанного на щитке, и превышения температуры отдельных частей не должны быть выше допустимых пределов.

Для повторно-кратковременного режима работы характерно то, что кратковременные рабочие периоды чередуются с кратковремен-

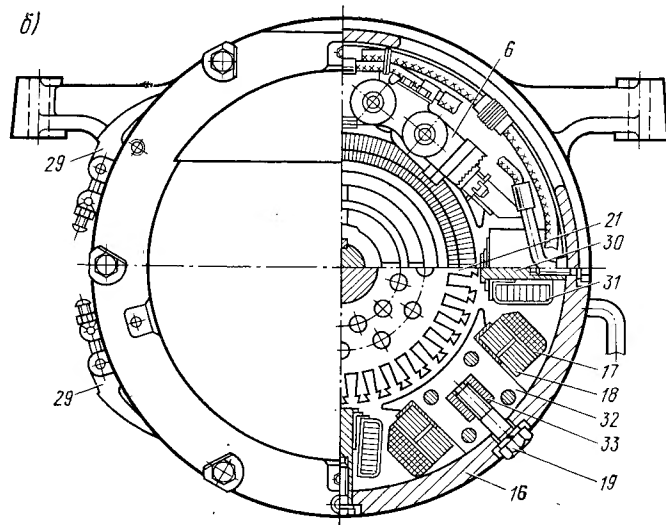
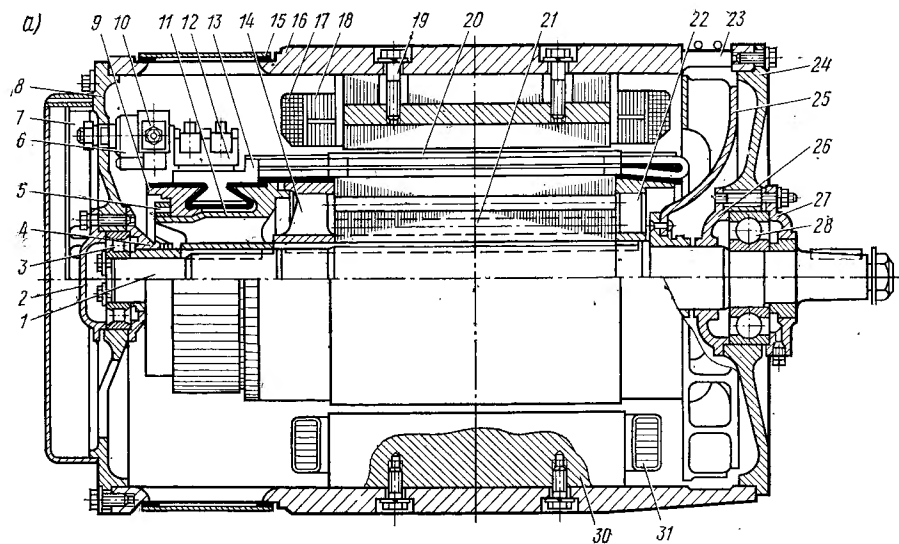


Рис. 1. Продольный (а) и поперечный (б) разрезы тягового двигателя ДК-210А-3: 1 — вал якоря; 2, 4, 26, 27 — подшипниковые крышки; 3 и 28 — роликовый и шариковый подшипники; 5 — кольцевая гайка; 6 — кронштейн щеткодержателя; 7 — вентиляционный патрубок; 8, 24 — подшипниковые щиты; 9 — нажимной конус; 10 — накладка; 11 — коллекторная втулка; 12 — обойма щеткодержателя; 13 — коллекторная пластина; 14, 22 — нажимные шайбы; 15 — крышка; 16 — корпус; 17, 18 — катушки главных полюсов; 19 — шпилька; 20 — обмотка якоря; 21 — пакет сердечника; 23 — вентиляционное окно; 25 — вентилятор; 29 — замки крышек смотровых люков; 30 и 32 — сердечники добавочного и главного полюсов; 31 — катушка добавочного полюса; 33 — стержень сердечника

ными периодами отключения. Этот режим определяется относительной продолжительностью рабочего периода, т. е. отношением времени рабочего периода к продолжительности цикла. Относительная продолжительность рабочего периода характеризуется величиной ПВ. Нормы устанавливают стандартные значения ПВ: 15, 25 и 40 %, при этом принимают, что продолжительность одного цикла не превышает 10 мин.

При номинальном повторно-кратковременном режиме электрическая машина должна работать с относительной продолжительностью включения, указанной на щитке электрической машины, неограниченное время, причем превышение температуры отдельных частей электрической машины не должно превышать допустимые пределы.

На троллейбусах ЗиУ-9 устанавливают тяговые двигатели ДК-210А-3, ДК-211А и ДК-211Б. Двигатели ДК-210-3 и ДК-211Б имеют смешанное возбуждение, ДК-211А — последовательное возбуждение. Корпус двигателя ДК-210А-3 цилиндрической формы, а ДК-211А и ДК-211Б — восьмигранной формы.

Конструкция тягового двигателя ДК-210А-3 представлена на рис. 1.

На троллейбусах 9Тр и трамвайных вагонах Т-3 производства Чехословацкой Социалистической Республики устанавливают двигатели с последовательным возбуждением соответственно 3АЛ-2943гН и ТЕ-022.

Технические данные этих двигателей следующие:

Тип двигателя	3АЛ-2943гН	ТЕ-022
Возбуждение	Последовательное	
Напряжение, В	600	300
Часовая мощность, кВт	115	45
Ток часового режима, А	208	150
Частота вращения якоря, об/мин	1500	1750
Масса, кг	830	320
Класс изоляции	В	В

Трамвайные вагоны отечественного производства РВЗ-6М-2 и КТМ-5М-3 снабжены тяговыми двигателями со смешанным возбуждением соответственно ДК-259Д-3 и ДК-259Г-3, а вагон РВЗ-7 — тяговым двигателем с последовательным возбуждением ДК-261А.

Все тяговые двигатели отечественного производства исполнены с самовентиляцией, имеют по 4 главных и добавочных полюсов, 4 щетки марки ЭГ-2а в щеткодержателе, наименьшая допустимая высота щетки 25 мм. Нажатие щеток должно быть в пределах 17,5—26,5 Н. Со стороны коллектора у всех двигателей установлен роликовый подшипник № 3032310, со стороны привода — шариковый подшипник: № 3086313 для двигателя ДК-210А-3, № 70-413 для двигателей ДК-211А и ДК-211Б № 70-410 для двигателей ДК-259Г-3, ДК-259Д-3 и ДК-261А. Уравнительные соединения в двигателях ДК-211А и ДК-211Б выполняются проводом марки ПСДКТ размером 1,25×2,5 мм.

Таблица 1

Показатели	Значения показателей для двигателя					
	ДК-210А-3	ДК-211А	ДК-211Б	ДК-259Г-3	ДК-259Д-3	ДК-261А
Тип возбуждения	Смешанное	Последовательное	Смешанное			Последовательное
Напряжение, В	550	550	550	550/275	550/275	550/275
Мощность часового режима, кВт	110	150	150	45	43	60
Частота вращения, об/мин:						
номинальная	1500	1750	1860	1200	1120	1460
наибольшая	3900	3900	3900	4050	4050	4050
Ток часового режима, А	220	300	300	190	182	250
Масса, кг	725	900	900	450	450	450
Якорь:						
Соппротивление обмотки при 20° С, Ом	0,062	0,0305	0,0305	0,055	0,055	0,0316
Число коллекторных пластин	175	210	210	175	175	139
Обмотка последовательного возбуждения:						
Соппротивление при 20° С, Ом	0,048	0,0374	0,0345	0,0416	0,0104	0,033
Число витков	24	27	25	22	8	28
Обмотка параллельного возбуждения:						
Соппротивление при 20° С, Ом	95	—	1,81	47	6,6	—
Число витков	930	—	60	630	285	—
Обмотка добавочных полюсов:						
Соппротивление при 20° С, Ом	0,0355	0,0112	0,0126	0,027	0,027	0,014
Число витков	26	15	15	26	26	20
Число щеткодержателей	4	4	4	2	2	4

Остальные технические характеристики тяговых двигателей отечественного производства приведены в табл. 1.

Тяжелые условия работы тяговых двигателей обуславливают особенности их конструкции. Конструкцию корпуса (остова) тягового электродвигателя увязывают с общей конструкцией экипажа. Люки корпуса должны обеспечивать доступность к внутренним частям двигателя для обслуживания как в депо, так и на линии.

Необходимость вписывания двигателя сравнительно большой мощности (до 150 кВт) в ограниченное пространство под кузовом подвижного состава требует значительного сокращения размеров двигателя и тем самым повышения его электромагнитных нагрузок.

Ввиду того что при эксплуатации тяговых двигателей имеют место частные механические, тепловые и электрические перегрузки, резкие изменения температуры окружающей среды, тряска и толчки, попадание пыли и влаги, при разработке их конструкции предусматривают повышенную электрическую и механическую прочность деталей и узлов, теплостойкую и влагостойкую изоляцию токоведущих частей и обмоток, устойчивую коммутацию двигателей.

По характеру работы подвижного состава городского электрического транспорта пуск тяговых двигателей происходит под нагрузкой. Кроме того, тяговый двигатель должен иметь широкий диапазон регулирования частоты вращения. Сравнительно небольшая частота вращения якоря двигателя необходима при больших нагрузках (трогание с места и разгон), и по мере уменьшения нагрузки на валу частота вращения должна достичь номинальную и затем превысить ее в 2—2,5 раза. С увеличением сопротивления движению, например при движении подвижного состава на подъеме, увеличивается сила тяги и, следовательно, потребляемый ток и автоматически должна снизиться скорость движения.

Более всего этим требованиям удовлетворяют двигатели с последовательным и смешанным возбуждением, у которых с увеличением тока в якоре возрастает магнитный поток, благодаря чему необходимые пусковые моменты реализуются при сравнительно небольших токах и скоростях, а при уменьшении нагрузки магнитный поток уменьшается, и частота вращения якоря двигателя увеличивается.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Работа тяговых двигателей характеризуется зависимостями частоты вращения якоря n , вращающего момента M_d и коэффициента полезного действия η_d от тока I , протекающего в цепи обмотки якоря. Эти зависимости называют *электромагнитическими характеристиками*.

При пуске подвижного состава тяговый двигатель подключается к контактной сети и к нему подводится напряжение

$$U_d = E + Ir_d, \quad (1)$$

где E — э. д. с. вращения якоря, В;

I — ток обмотки якоря, А;

r_d — суммарное сопротивление обмоток двигателя (якоря, главных и добавочных полюсов). Ом.

Мощность, подводимая к двигателю $P_3 = U_d I$, меньше полезной мощности на валу P_d на потери в двигателе ΣP_d

$$P_d = P_3 - \Sigma P_d = U_d I \eta_d, \quad (2)$$

где ΣP_d включают в себя электрические, магнитные, механические и добавочные потери в двигателе, Вт; η_d — к. п. д. двигателя.

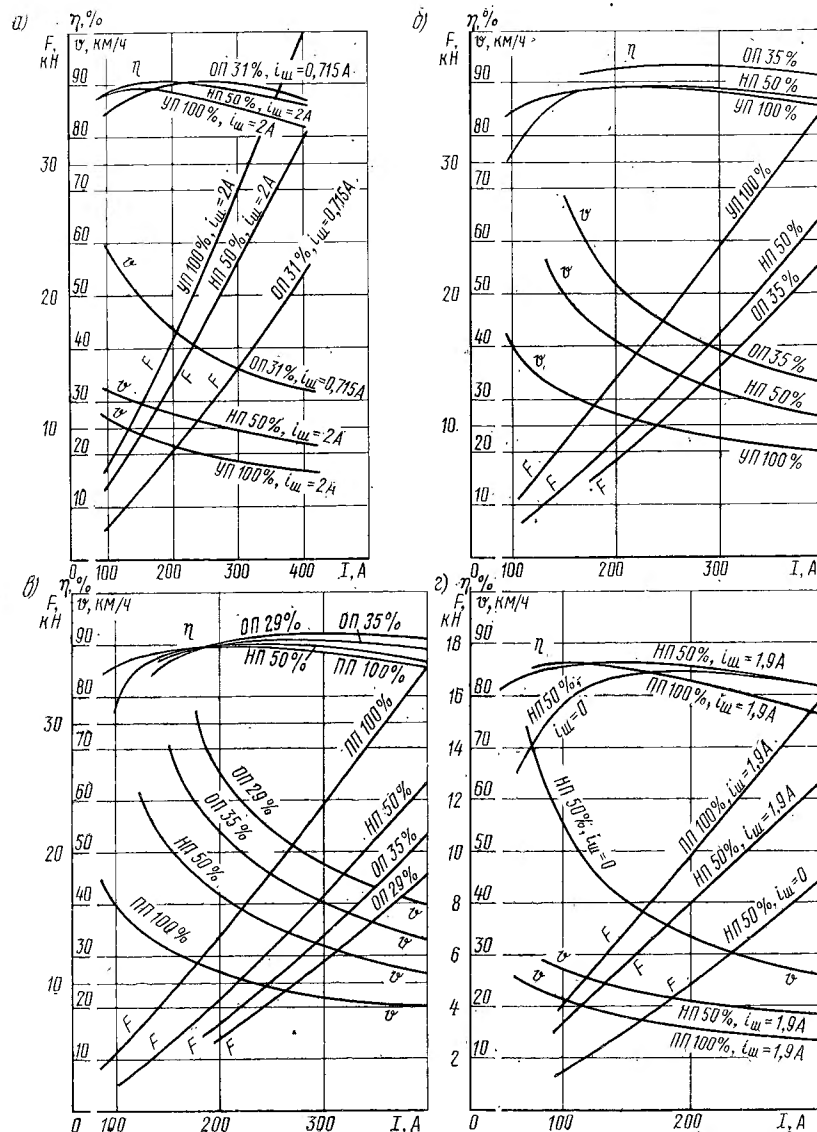


Рис. 2. Электромеханические характеристики тяговых двигателей:
а — ДК-210А-3; б — ДК-211А; в — ДК-211Б; г — ДК-259Г-3

Отсюда к. п. д. двигателя можно определить из выражения

$$\eta_d = \frac{U_d I - \Sigma P_d}{U_d I} \quad (3)$$

Частота вращения якоря n с учетом выражения (1)

$$n = E / C_1 \Phi = \frac{U_d - I r_d}{C_1 \Phi} \quad (4)$$

где C_1 — коэффициент, зависящий от параметров обмоток двигателя;

Φ — магнитный поток в двигателе, Вб.

Вращающий момент на валу двигателя M_d меньше электромагнитного момента $M_{эм}$ на потери ΔM_d , требуемые для преодоления механических $P_{мех}$ и магнитных $P_{маг}$ потерь в двигателе:

$$M_d = M_{эм} - \Delta M_d = 9,55 U_d I \eta_d / n. \quad (5)$$

Электромагнитный момент $M_{эм}$ зависит от тока и магнитного потока в тяговом двигателе:

$$M_{эм} = 9,55 C_1 \Phi I;$$

$$\Delta M_d = 9,55 (P_{мех} + \kappa_c P_{маг}) / n. \quad (6)$$

В выражении (6) коэффициент $\kappa_c \geq 1$ и учитывает повышение магнитных потерь при увеличении нагрузки двигателя.

При проектировании подвижного состава удобно пользоваться электромеханическими характеристиками двигателей, приведенными к ободу ведущего колеса $D_{вк}$. В этом случае следует учитывать потери в зубчатой передаче $P_{зп}$. Для пересчета электромеханических характеристик с вала тягового двигателя на обод ведущего колеса можно использовать следующие соотношения:

$$v = D_{вк} n / 5,3 \mu, \quad (7)$$

где v — скорость подвижного состава, км/ч;

μ — передаточное число зубчатой передачи.

Сила тяги F_d на обод ведущего колеса без учета к. п. д. зубчатой передачи

$$F_d = 2 \mu M_d / D_{вк}, \quad (8)$$

с учетом к. п. д. зубчатой передачи:

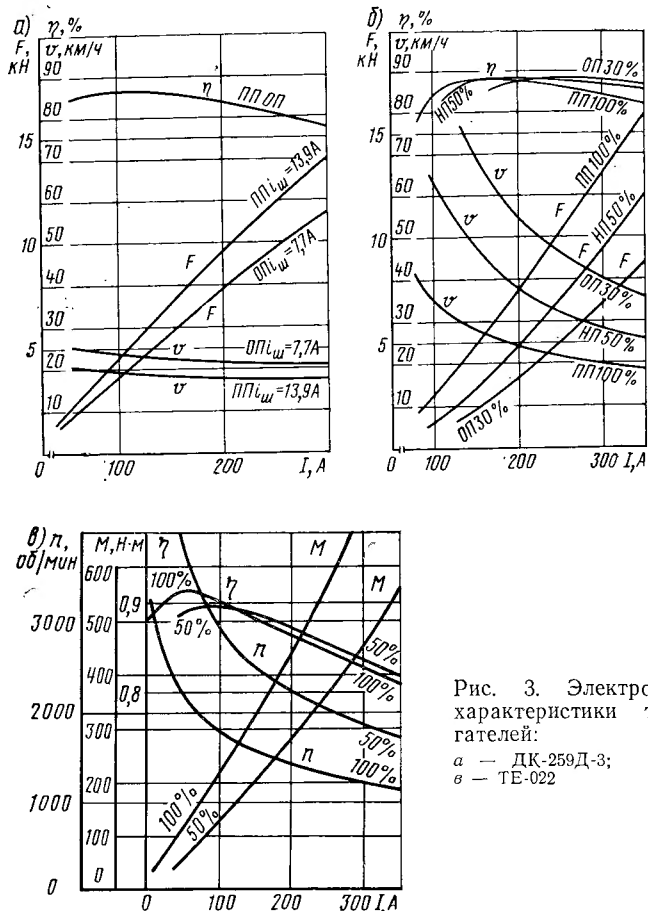
$$F_d = 2 \mu M / D_{вк}, \quad (9)$$

где M — вращающий момент двигателя с учетом потерь в зубчатой передаче, т. е.

$$M = M_{эм} - \Delta M = M_{эм} - 9,55 (P_{мех} + \kappa_c P_{маг} + P_{зп}) / n. \quad (10)$$

Коэффициент полезного действия, приведенный к ободу ведущего колеса

$$\eta = \frac{U_d I - \Sigma P_d - P_{зп}}{U_d I} = \eta_d - \frac{P_{зп}}{U_d I}. \quad (11)$$



На рис. 2 и 3 приведены электромеханические характеристики, приведенные к ободу ведущего колеса, некоторых типов тяговых двигателей для троллейбусов и трамвайных вагонов. Указанные характеристики изображены без учета к. п. д. в зубчатой передаче, так как при проектировании двигателя не учитывают тип, конструкцию и параметры редуктора.

3. КОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Тяговый двигатель состоит из следующих основных частей: корпуса (остова), главных и добавочных полюсов, якоря, коллектора щеткодержателей со щетками, подшипниковых щитов. Для охлаждения двигателя предусмотрен вентилятор.

Корпус и укрепленные на нем сердечники 32 и 30 (см. рис. 1) полюсов с катушками являются неподвижной частью магнитной

системы двигателя. Корпус 16 двигателя является также элементом жесткости и магнитопроводом, так как через него замыкается магнитный поток. Поэтому он отливается из стали с высокой магнитной проницаемостью и толщина его стенок определяется механическим и электромагнитным расчетами. Корпус выполняется цилиндрической или восьмигранной формы, по внутреннему диаметру сделана расточка для крепления главных и добавочных полюсов.

Главные полюсы устанавливаются под углом 45° к вертикали. Добавочные полюсы имеют вертикально-горизонтальное расположение. С торцов на корпусе — специальные кольцевые заточки для установки подшипниковых щитов 8 и 24, которые крепятся к нему болтами. Для доступа к коллектору и щеткодержателям в корпусе предусмотрены коллекторные люки, закрываемые съемными крышками 15 с уплотнением из губчатой резины, а с противоположной стороны по окружности расположены вентиляционные окна 23, защищенные по контуру проволочным заграждением или металлическими сетками. Для выводных концов обмотки якоря и полюсов предусмотрены отверстия, армированные резиновыми втулками.

Внутри корпус, за исключением мест под посадку полюсов, покрыт электроэмалью, снаружи — битумным лаком для защиты от коррозии.

Форма корпуса в виде неправильного восьмигранника, близкого к квадрату (двигатели ДК-211 и 3АЛ-2943rN), наиболее целесообразна, так как она обеспечивает высокое использование занимаемого двигателем пространства. Для изготовления такой формы требуются сложные модели и, кроме того, обработка внутренней поверхности под главные и добавочные полюса состоит из нескольких операций.

Главные и добавочные полюса — важные части двигателя. Главные полюса двигателя предназначены для создания основного магнитного потока, который взаимодействуя с током обмотки якоря, приводит якорь во вращение.

Добавочные полюса предназначены для улучшения коммутации. Коммутацией называется процесс перехода тока секции обмотки якоря из одной параллельной ветви в другую, т. е. процесс изменения направления тока в секции якоря.

Ток, проходящий по обмотке якоря, создает собственное магнитное поле, которое взаимодействует с основным магнитным полем двигателя. Воздействие магнитного поля якоря на основное поле двигателя называется реакцией якоря. Реакция якоря нарушает правильную коммутацию, вызывая искрение под щетками. Воздействие реакции якоря, вызывающее искрение на коллекторе, устраняется с помощью добавочных полюсов, которые размещены между главными полюсами по оси коммутируемых секций, замыкаемых накоротко щетками.

Ширину добавочных полюсов выбирают небольшой, чтобы их магнитное поле действовало только в зоне, где происходит комму-

тация. Чтобы магнитное поле добавочных полюсов компенсировало э. д. с. реакции якоря при различных нагрузках, обмотку этих полюсов включают последовательно с обмоткой якоря, в результате чего магнитное поле их изменяется пропорционально нагрузке.

Сердечники 32 (см. рис. 1, б) главных полюсов набирают из штампованных стальных листов Ст2 толщиной 1—1,5 мм, крайние листы толщиной 3—5 мм. Листы спрессовывают и соединяют заклепками. Затем в сердечнике полюса нарезают резьбу для крепления его к корпусу с помощью шпилек. В тяговых двигателях отечественного производства применяют сердечники главных полюсов со стержнем 33 в центре полюса, проходящим вдоль всей его длины.

В этом случае сердечники полюсов крепятся к корпусу болтами из стали 45. Сердечники добавочных полюсов 30 представляют собой механически обработанные стальные отливки (Ст25Л) и к корпусу крепятся болтами.

Катушки тяговых и вспомогательных двигателей выполняются бескаркасными. В зависимости от профиля провода, способа намотки и схемы включения различают следующие виды катушек.

1. Двухслойные катушки, намотанные из шинной меди. Витки катушки изолируют друг от друга асбестовой электроизоляционной бумагой, выступающей за края меди на 0,5—1 мм. Слои катушки отделяют прокладкой, склеенной из миканита и асбестовой бумаги. К крайним виткам катушек твердым припоем припаивают выводные пластины. Наружную изоляцию выполняют тремя слоями шелкосюдяной ленты и двумя слоями стеклоткани, наложенными вполуперекрышу. Обмотку с сердечником запекают по специальной технологии в кремнийорганической смоле, затем покрывают изоляционным серым лаком. Такую конструкцию катушек применяют для главных и добавочных полюсов двигателей последовательного возбуждения.

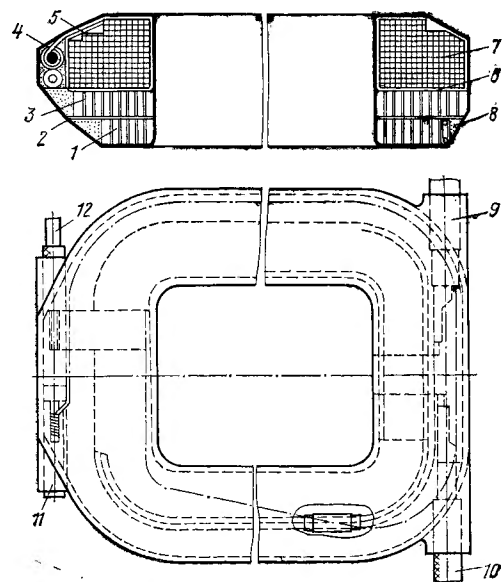
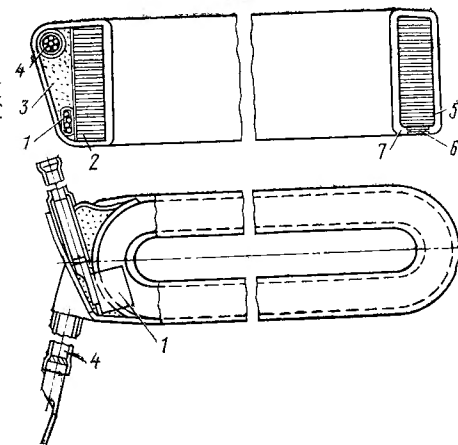


Рис. 4. Катушка главного полюса двигателя смешанного возбуждения:

1, 3 — обмотка последовательного возбуждения; 2, 6 — изолирующая рамка; 4 — внешняя изоляция катушки; 5 — прокладка; 7 — обмотка параллельного возбуждения; 8 — замазка; 9, 10, 11, 12 — выводы обмоток

Рис. 5. Катушка добавочного полюса:

1 — пластина вывода; 2 — обмотка добавочного полюса; 3 — замазка; 4 — вывод обмотки; 5 — стяжная лента; 6 — основная изоляция; 7 — покровная лента



2. Многовитковые катушки из изолированной круглой меди. В зависимости от класса изоляции в этих катушках применяют провода марки ПЭТ-155 для изоляции классов *F* или *H*; ПСД — для изоляции классов *B* или *P*; ПБД или ПЭБЛО — для изоляции класса *A*. Изоляцию катушки выполняют из стеклянной ленты в один слой вполуперекрышу. Катушки такой конструкции используют для параллельных обмоток тяговых двигателей со смешанным возбуждением и для обмоток последовательного возбуждения вспомогательных двигателей.

В двигателях со смешанным возбуждением катушки последовательного и параллельного возбуждения (рис. 4) разделяют изолирующими рамками из миканита и асбестовой бумаги и затем на них накладывают общую наружную изоляцию.

3. Катушки последовательного возбуждения двухслойные из шинной меди с обмоткой подмагничивания из круглого изолированного провода.

4. Катушки из шинной меди с намоткой на ребро (рис. 5). Такие катушки применяют для добавочных полюсов тяговых двигателей. Изоляцию между витками добавочных полюсов выполняют из асбестовой бумаги.

Все свободные места и неровности, образующиеся при намотке катушек, заполняют электроизоляционной замазкой.

Внешняя изоляция полюсных катушек состоит из трех основных частей: стяжной ленты, основной изоляции и внешней покровной ленты.

У тяговых электродвигателей в качестве стяжной ленты применяют стеклянную ленту, которую наматывают в один слой встык. Основную изоляцию катушки выполняют специальной стеклотканью ЛС2ФКД в три слоя вполуперекрышу. Внешней покровной лентой служит обычно киперная лента, пропитанная лаком.

Для вспомогательных электрических машин с изоляцией класса *A* в качестве стяжной используют тафтяную ленту. Основная

изоляция выполняется хлопчатобумажной лакотканью в четыре слоя или микалентой в три слоя вполуперекресту. Покровной лентой также служит киперная лента. После намотки и изолировки катушки полюсов двукратно пропитывают компаундом в автоклаве.

На сердечниках полюсов катушки крепят с помощью стальных пружинных фланцев, предохраняющих изоляцию катушек от повреждения, вызываемого вибрацией их на сердечнике при движении экипажа.

В катушках в процессе их намотки пространство между витками заполняется кремнийорганическими эмалями. Тяговые электродвигатели с кремнийорганической изоляцией имеют большую мощность при той же массе, повышенные частоту вращения якоря, термическую стойкость и лучшие энергетические показатели.

Существенное снижение общего нагрева обмотки достигается применением изоляции типа «Монолит-2». Эпоксидная смола с отвердителем в условиях глубокого вакуума и последующего давления заполняет все пространство внутри катушки и после отверждения обеспечивает значительное улучшение теплопередачи. Применение эпоксидных смол в качестве наполнителей позволило создать моноблоки, состоящие из катушек, соединенных с сердечниками эпоксидными связующими. Такая конструкция исключает вибрацию катушки, устраняет непосредственное соприкосновение катушек и корпуса и тем самым повышает общую надежность тягового двигателя.

Межкатушечные соединения выполняют проводом марки ПС-3000 или шинами, изолированными лентами из хлопчатобумажной лакоткани и тафтяной ленты.

Якорь двигателя состоит из вала 1 (см. рис. 1), стального пакета 21 с обмоткой 20, передней и задней нажимных шайб 14 и 22 и коллектора 13.

Вал якоря изготовлен из катаной углеродистой конструкционной стали марки 45 (вязкой, высокого механического качества) с последующей термообработкой. Диаметр вала изменяется ступенчато по длине. Пакет набирают из отдельных штампованных листов электротехнической стали Э12 или Э13 толщиной 0,5 мм, крайние 4—5 листов для предотвращения распушивания пакета берут толщиной 1—1,5 мм. Готовые листы для уменьшения потерь энергии от вихревых токов, возникающих при пересечении якорем магнитного поля, двукратно покрывают бакелитовым лаком с последующим запеканием. На валу якоря пакет крепят на шпонке и стягивают двумя литыми из стали марки 25Л нажимными шайбами 14 и 22 (см. рис. 1). Пакет, напрессованный на вал и закрепленный нажимными шайбами, представляет собой сердечник якоря. Пакет имеет пазы, предназначенные для укладки в них обмотки якоря. Вентиляционные отверстия в сердечнике и коллекторе служат для охлаждения якоря воздушным потоком.

Балансируют сердечник с помощью стальных грузов, привариваемых к нажимным шайбам.

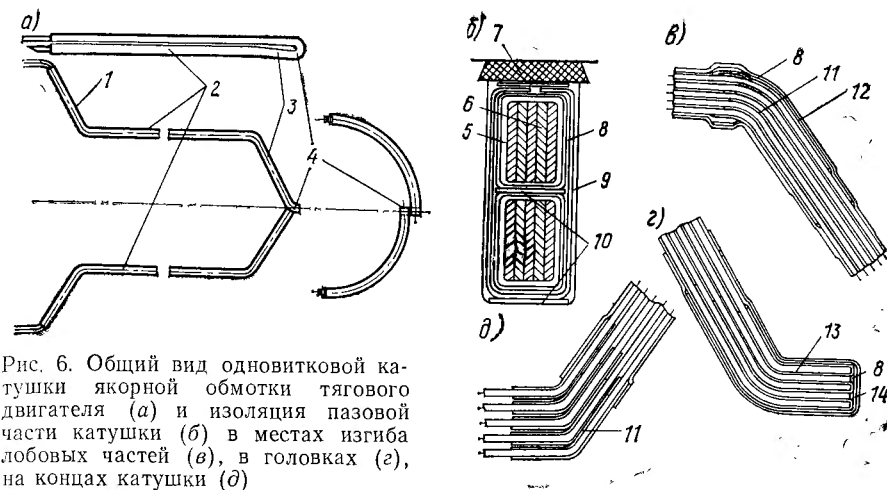


Рис. 6. Общий вид одновитковой катушки якорной обмотки тягового двигателя (а) и изоляция пазовой части катушки (б) в местах изгиба лобовых частей (в), в головках (г), на концах катушки (д)

Обмотку якоря для тяговых двигателей трамвая и троллейбуса выполняют из одновитковых катушек (рис. 6, а) или двухвитковых катушек, для вспомогательных двигателей — из многовитковых катушек (рис. 7, а). Применяют простую волновую обмотку.

Катушка якоря (см. рис. 6, а) состоит из активных пазовых частей 2, передних лобовых частей 1 и задних лобовых частей 3. Стороны катушки якоря располагаются в разных слоях пазов: верхнем и нижнем. Переход верхней стороны катушки к нижней осуществляется с помощью головки 4 на задних лобовых частях.

Для катушек якорей тяговых и вспомогательных двигателей используют изолированный провод 6 марки ПСДК или ПСД. Основную изоляцию 5 катушек относительно корпуса (рис. 6, б) выполняют в виде простынки из микабумаги или нагревостойкой стекломикаленты СГЛФК в четыре с половиной оборота. Сверху катушка имеет покровную изоляцию 8, также из стекломикаленты, которую накладывают в один слой встык. В качестве пазовой изоляции 9 служит электрокартон ЭВ или эскапоновая лакоткань ЛСЭ-1. На дно паза укладывают прокладку 10 из асбестовой электроизоляционной бумаги, пропитанной лаком. Такая же прокладка предусматривается между нижним и верхним слоями в пазу. В верхней части паза под клин устанавливают прокладку 7 из листового текстолита.

Места перехода пазовой части в лобовую и головки задних лобовых частей наиболее подвержены механическим повреждениям, поэтому их изолируют дополнительно. Для этой цели в местах изгиба между проводами устанавливают прокладки 11 из нагревостойкой стекломикаленты (рис. 6, д) и стеклоткани ЛСК (рис. 6, в). Сверху места изгиба катушек изолируют стеклослюдитовой лентой (ЛІСК) 12 в два слоя вполуперекресту. В случае

применения для обмотки провода ПСД головки проводников дополнительно изолируют одним слоем стеклотенты 13 (рис. 6, г) вполуперекрышу. Всю головку катушки сверху изолируют одним слоем покровной стеклотенты 8, а верхнюю часть головки дополнительно изолируют еще одним слоем тафтяной ленты 14. Верхние и нижние стороны катушек на лобовых частях изолируют друг от друга асбестовой бумагой и гибким миканитом.

Обмотка якоря в пазах удерживается клиньями из стеклотекстолита СТЭФ, а лобовые части закрепляют бандажами из бандажной проволоки. Концы катушек якоря припаивают к коллекторным пластинам с помощью серебряно-кадмиевого припоя. После укладки в пазы обмотку якоря пропитывают лаком К-47.

Якорные катушки вспомогательных двигателей выполнены проводами 9 марки ПЭБЛО и ПЭЛБД (рис. 7). Изоляцию 8 катушки выполняют из шелковой лакоткани ЛШС в пять с половиной оборотов или из хлопчатобумажной лакоткани ЛХС в два с половиной оборота. В качестве покровной изоляции 7 применяют стекломикантенту, намотанную в один слой встык.

Пазы изолируют электрокартоном 6 марки ЭВ. Прокладки 5 между слоями изготавливают также из электрокартона. Лобовые части катушек обмотки якоря изолируют одним слоем покровной ленты 7 вполуперекрышу. Места изгиба катушек вспомогательных двигателей изолируют лентой 10 из лакоткани ЛШС в один слой (см. рис. 7, в) и сверху накладывают один слой покровной ленты 7 вполуперекрышу. (На рис. 7, а позиции: 1 — передняя лобовая часть; 2 — активные пазовые части; 3 — задняя лобовая часть; 4 — головка).

Верхние и нижние стороны катушек на лобовых частях изолируют друг от друга электроизоляционным картоном ЭВ. Подбандажную изоляцию лобовых частей у вспомогательных двигателей выполняют также из электрокартона.

Обмотку якоря в пазах у вспомогательных двигателей закрепляют либо металлическими бандажами, либо клиньями из текстолита.

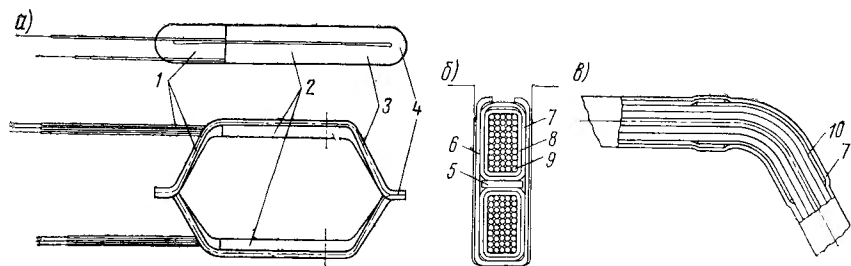


Рис. 7. Общий вид многовитковой катушки якорной обмотки вспомогательных двигателей (а), изоляция в пазовой части катушки (б) и в местах изгиба лобовых частей (в)

Коллектор двигателя предназначен для распределения тока по обмотке якоря. Он состоит из комплекта коллекторных пластин 13 (см. рис. 1), втулки 11 и нажимного конуса 9. Коллекторные пластины изготавливают из полосовой трапециевидного сечения холодной протянутой коллекторной или кадмиевой меди. Кадмиевая коллекторная медь в сравнении с обычной коллекторной медью обладает вдвое большей износостойчивостью. Коллекторная пластина имеет рабочую поверхность, петушок и ласточкин хвост. Друг от друга коллекторные пластины изолируют миканитовыми прокладками толщиной 0,8 мм. Ласточкины хвосты коллекторных пластин, собранных в кольцо, зажимают между стальными конусами втулки и нажимного конуса и от них изолируют миканитовыми манжетами и миканитовым цилиндром. Натяг осуществляется гайкой 5. Миканитовые прокладки имеют в своем составе небольшую долю склеивающего лака и обладают малой усадкой. Миканитовые манжеты и цилиндр изготавливают из формовочного миканита толщиной 1—1,5 мм.

Посадка коллектора на вал — легкопрессовая, со шпонкой. Петушки коллекторных пластин имеют шлицы, в которые впаивают конец одной секции и начало другой секции обмотки якоря. Для пайки обмотки якоря к петушкам используют припой ПСрЗКД.

В тяговых двигателях ДК-259Г-3 и КД-259Д-3 применяют коллектор с пластмассовым креплением. Комплект коллекторных пластин вместе с армирующим кольцом и стальной втулкой опрессовывают пластмассой на стеклянной основе типа АГ-4. Армирующее кольцо изготавливают из стали с повышенными механическими свойствами. Коллектор с пластмассовым креплением обладает монолитностью, может выдерживать высокую частоту вращения, но его практически нельзя ремонтировать, поэтому, чтобы увеличить срок его службы, коллекторные пластины изготавливают из кадмиевой меди, обладающей высокой износостойчивостью.

Щеткодержатели и щетки в значительной степени влияют на надежность работы двигателя на линии. Необходимым условием нормальной работы щеточного аппарата является точное положение щеток на коллекторе, надежный контакт и отсутствие вибрации. Конструкция щеткодержателя должна обеспечивать также практически стабильное нажатие на щетку независимо от степени износа ее по высоте, достаточную механическую прочность, надежную изоляцию от корпуса, доступность осмотра и замены деталей. Рассмотрим конструкцию щеткодержателя тягового двигателя ДК-210А-3 (рис. 8).

Щеткодержатель состоит из двух основных частей: корпуса и кронштейна. Корпус 6 щеткодержателя изготавливается литьем под давлением из латуни марки ЛС-59. Он имеет два гнезда для установки щеток и нажимное устройство, обеспечивающее прижатие щеток к коллектору. Корпус щеткодержателя крепится к стальному кронштейну 10 с помощью гребенки и корончатой гайки 8. Рифленая поверхность соприкосновения корпуса 6 и накладок 9

(гребенка) обеспечивает их надежное соединение и исключает возможность перекоса. Овальное отверстие в корпусе щеткодержателя под шпильку 7 кронштейна дает возможность регулировать положение корпуса по отношению к коллектору. Расстояние от корпуса щеткодержателя до рабочей поверхности коллектора должно составлять 3—4 мм.

Кронштейн щеткодержателя имеет две опрессованные пластмассой шпильки 14 в насаженных на них фарфоровых изоляторах 11 и крепится к переднему подшипниковому щиту электродвигателя с помощью гаек 13 с пружинными шайбами 12, навинчиваемых на шпильки. В двигателях ДК-259Г-3 кронштейн щеткодержателя представляет собой стальную конструкцию, армированную высокопрочной пластмассой АГ-4.

В каждом щеткодержателе устанавливают две щетки 16. К щеткам ток подводится через нажимные пальцы 4, которые соединяются с корпусом щеткодержателя шунтом 5. Эти же пальцы создают нажатие щеток на коллектор с помощью ленточных спиральных пружин 15. Один конец пружины входит в разрез регулировочной втулки 2, а к другому концу пружины заклепками крепится нажимной палец. Регулировку натяжения пружины осуществляют поворотом втулки 2 на валике 3 с последующим фиксированием втулки шплинтом 1.

В двигателях трамвайных вагонов и троллейбусов используют в основном щетки электрографитированные (ЭГ) и меднографитные (М). Электрографитированные щетки марок ЭГ-2а, ЭГ-14 рекомендуются для плотности тока 10—12 А/см² и окружной скорости 40—45 м/с, а щетки марки ЭГ-74 — для плотности тока 10—15 А/см² и окружной скорости 50 м/с. Удельное нажатие на щетки этих марок для условий вибрации составляет 400—500 г/см².

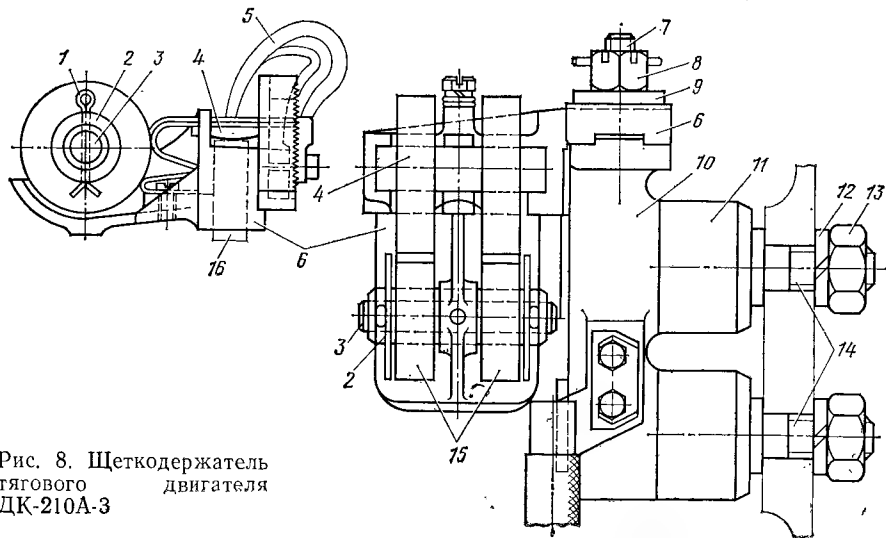


Рис. 8. Щеткодержатель тягового двигателя ДК-210А-3

Меднографитные щетки сравнительно мягкие. Они рекомендуются для плотности тока 12—15 А/см². Удельное нажатие на щетки 200 г/см².

На коммутацию тяговых электродвигателей качество щеток оказывает большое влияние. Современные тяговые двигатели быстходные и для надежной коммутации требуют применения щеток определенного качества. Для тяговых электродвигателей должны применяться щетки марок ЭГ-2а, ЭГ-14 и ЭГ-74. Эти щетки, помимо хорошей электропроводности, обладают необходимой твердостью. Допустимый износ щеток для тяговых двигателей составляет примерно 25 мм.

Мягкие щетки вызывают быстрое загрязнение коллектора и двигателя. Их рекомендуют применять в маломощных двигателях с небольшой частотой вращения.

Корпуса щеткодержателей вспомогательных двигателей крепятся к пальцам, изолированным бакелизированной тканью. Пальцы зажимаются в специальном замке траверсы. Траверсу располагают на заточке подшипникового щита, ее положение устанавливают по наименьшей степени искрения при испытании двигателя и фиксируют винтом.

Подшипниковые узлы включают подшипниковые щиты, подшипниковые крышки (внешнюю и внутреннюю) и подлабиринтовые втулки. В тяговых двигателях применяют радиальные шариковые и роликовые подшипники. Роликовые подшипники при одинаковых монтажных размерах с шариковыми допускают большие нагрузки.

При работе двигателя происходит изменение длины вала якоря вследствие изменения температуры двигателя. Для исключения механических напряжений при этом явлении с одной стороны якоря подшипник должен допускать некоторое перемещение вала в осевом направлении (свободный подшипник).

Схема соединения обмотки якоря и обмоток возбуждения двигателя ДК-210А-3 приведена на рис. 9. Соединения, выполненные со стороны коллектора, обозначены на схеме сплошными линиями, штриховыми линиями обозначены соединения, выполненные со стороны привода.

Катушки полюсов как главных, так и добавочных соединены последовательно, витки наматываются против часовой стрелки. Начала катушек обозначаются буквой А (А, а), концы — буквой Е (Е, е).

Для обеспечения правильного чередования полярности главных полюсов при обходе катушки по окружности соединяют конец первой катушки с концом второй, начало второй соединяют с началом третьей и т. д. Катушки добавочных полюсов с обмоткой якоря соединяют последовательно. Для уменьшения помех радиоприему, создаваемых работающим двигателем, катушки добавочных полюсов следует располагать симметрично по отношению к обмотке якоря, т. е. по две с каждой стороны.

Выводы от обмоток тягового двигателя маркируются следующим образом: *Я11* — начало обмотки якоря и добавочных полюсов; *Я21* — конец обмотки якоря и добавочных полюсов; *С11*, *С21* — начало и конец последовательной обмотки возбуждения; *Ш11*, *Ш21* — начало и конец параллельной обмотки возбуждения. Выводы обмотки подмагничивания маркируют так же, как у параллельной обмотки возбуждения, т. е. *Ш11* и *Ш21*. Щеткодержатель отрицательной полярности расположен против середины главного северного полюса, а щеткодержатель положительной полярности — против середины южного полюса. При этом двигатель вращается против часовой стрелки, если смотреть со стороны коллектора. Одноименные щеткодержатели соединяют проводом. Прочие соединения внутри машины выполняют либо проводом, либо шиной.

Вентилятор предназначен для охлаждения электродвигателя. Существуют два способа охлаждения тяговых двигателей — самовентиляция и независимая вентиляция (принудительная). Наиболее эффективным способом охлаждения является независимая вентиляция. Объем вентилируемого воздуха при этом остается постоянным независимо от нагрузки и частоты вращения якоря двигателя. Ввиду того что система независимой вентиляции требует дополнительного оборудования — вентилятора с приводным

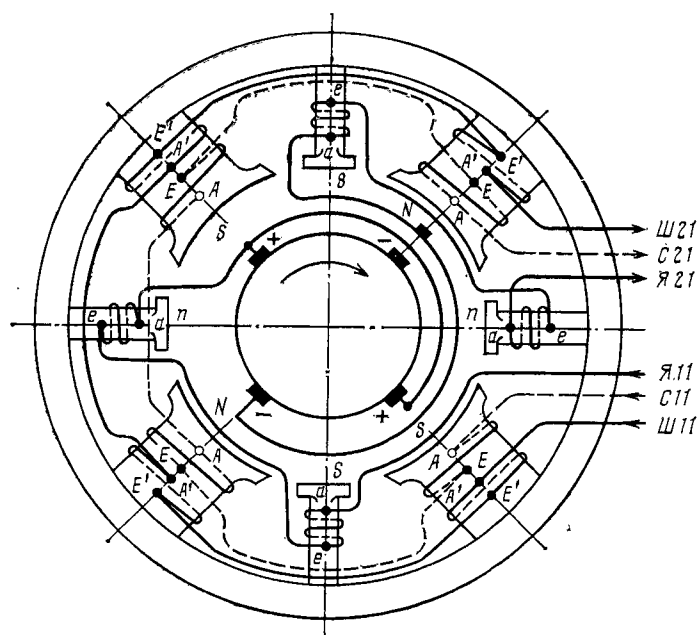


Рис. 9. Монтажная схема соединения обмоток тягового двигателя ДК-210А-3 (сплошные линии соединения со стороны коллектора; штриховые — со стороны привода)

двигателем, воздухопроводов, ее редко применяют на городском электрическом транспорте.

Наиболее рациональная система охлаждения двигателей — самовентиляция. При этой системе вентилятор закрепляют на валу якоря двигателя. Применяют вытяжную аксиальную вентиляцию, при которой вентилятор расположен в месте выхода воздуха из двигателя. В тяговых двигателях трамвая и троллейбуса отечественного производства вентиляторы устанавливают в двигателях со стороны привода (см. рис. 1). При вращении якоря центробежный вентилятор засасывает воздух в двигатель со стороны коллектора через патрубок, защищенный проволоочной сеткой, и входные отверстия в переднем подшипниковом щите.

Внутри двигателя воздух проходит двумя параллельными путями: снаружи якоря между катушками главных и добавочных полюсов и по каналам внутри якоря. Нагретый воздух выбрасывается из двигателя через вентиляционные окна, расположенные против лопаток вентилятора. Эти окна защищены снаружи сетками. При таком расположении вентилятора щеткодержатели можно крепить к переднему подшипниковому щиту, облегчается доступ к коллектору и щеткодержателям и хорошо охлаждается коллектор. Вместе с тем при таком расположении вентилятора появляется большая возможность попадания на коллектор грязи и влаги вместе с охлаждающим воздухом, что неблагоприятно отражается на коммутации двигателя. Но все-таки такое расположение вентилятора со стороны привода считается наиболее целесообразным.

Вентиляторы отливают из силумина (сплава алюминия с кремнием) — легкого некорродирующего металла, обладающего хорошими литейными качествами. Для обеспечения надежной посадки на валу вентилятор имеет стальную втулку, к которой крепится заклепками.

На тяговом электродвигателе типа 3АЛ-2943гН применяют двухлопастный вентилятор, позволяющий отдельно охлаждать якорь и корпус с полюсами. Вентилятор крепится на валу якоря со стороны коллектора. Всасывающий патрубок расположен на корпусе двигателя со стороны передачи. Колпак патрубка закрыт металлической сеткой и имеет козырек, предохраняющий входное отверстие от попадания воды и грязи. Выходные вентиляционные отверстия расположены в корпусе над лопастями вентилятора и имеют снаружи по контуру предохранительные проволоочные ограждения и снизу дополнительно защищены от грязи и влаги кожухом.

Недостатком самовентиляции является снижение количества засасываемого охлаждающего воздуха при увеличении нагрузки, а следовательно, рост потерь, выделяющихся в двигателе, так как при увеличении нагрузки уменьшается частота вращения якоря.

Тяговые двигатели ТЕ-022 выполнены с принудительной вентиляцией, осуществляющейся вентиляторами, приводимыми в действие двигатель-генератором. Постоянное количество охлаждающего воздуха подается вентиляторами по воздухопроводу в тяго-

Показатели	Значения показателей для двигателя			
	ДК-660А	ДК-661А-1	ДК-408В	КБМ
Напряжение, В	550	550	550	550
Мощность часового режима, кВт	0,8	2,8	3,5	2,8
Частота вращения номинальная ротора, об/мин	1950	1600	1100	775
Ток продолжительного режима, А	2,8	7	9	6,4
Масса, кг	—	130	195	212
Сопrotивление обмоток при 20° С, Ом:				
якоря	1,82	1,82	2,77	3,54
главного полюса	11	8	3,2	4,75
добавочного полюса	1,5	1,5	—	—

вый двигатель через гофрированный патрубок, установленный на корпусе двигателя со стороны коллектора и снабженный защитной проволоочной сеткой. Нагретый воздух выбрасывается из двигателя через вентиляционные отверстия в заднем подшипниковом щите.

Подвеска тяговых двигателей на современном подвижном составе трамвая и троллейбуса осуществляется независимой. При такой подвеске двигатель жестко крепится к основанию кузова на троллейбусах или в к раме тележки на трамвайных вагонах. В свою очередь кузов и рамы тележек закрепляют на осях с помощью рессор.

Вращающий момент отвала якоря на движущую ось передается посредством карданной передачи и шестеренчатого редуктора. Воздействие неровностей пути (рельса) на двигатель практически исключается, а относительное перемещение редуктора и двигателя, обусловленное прогибом рессор, компенсируется карданной передачей.

4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ НА НАПРЯЖЕНИЕ 550 В

Вспомогательные электрические машины постоянного тока работают от контактной сети на номинальном напряжении 550 В. К этим машинам относятся двигатели приводов генераторов собственных нужд и вентиляторов пускотормозных реостатов, приводов компрессоров. Конструкции этих и тяговых двигателей аналогичны.

Технические данные вспомогательных электрических машин с последовательным возбуждением приведены в табл. 2.

Вспомогательный электродвигатель ДК-661А-1 используют в качестве привода генератора собственных нужд и вентилятора обдува пускотормозного реостата на троллейбусе ЗиУ-9 и трамвайном вагоне КТМ-5М-3. Этот двигатель рассчитан на продолжительный режим работы. Он выполнен с последовательным возбуждением и самовентиляцией. Для осмотра коллектора и щеток имеются два люка, крышки которых снабжены уплотнением, защищающим двигатель от проникновения пыли и влаги. Обмотка якоря в пазах крепится бандажами из стальной проволоки. Технические данные двигателя приведены в табл. 2.

Электродвигатель ДК-660А служит приводом вентилятора отопительно-вентиляционной системы трамвайного вагона РВЗ-6М-2. Это двигатель закрытого исполнения с последовательным возбуждением. Технические данные двигателя приведены в табл. 2.

Двигатель-генератор SMD-16Ab устанавливают на трамвайных вагонах Т-3, он состоит из двух электрических машин, смонтированных в одном корпусе и на одном валу: двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением, получающего питание от контактной сети, и генератора собственных нужд постоянного тока

с параллельным возбуждением и номинальным напряжением 32 В. На обоих концах вала специальными фланцами крепятся два вентилятора, с помощью которых осуществляется принудительное охлаждение пускотормозных реостатов ускорителя, электрических аппаратов и тяговых электродвигателей.

Воздух вентиляторами засасывается через вентиляционную решетку, расположенную в средней части корпуса. Вентиляторы закрыты кожухами, которые с помощью фланцев соединяются с воздухопроводами кузова. Приливы-лапы в верхней части корпуса служат для крепления двигатель-генератора к раме кузова. Генератор четырехполюсный, выполнен без добавочных полюсов.

Электродвигатель ДК-408В служит приводом компрессора на троллейбусе ЗиУ-9. Двигатель ДК-408В рассчитан на повторно-кратковременный режим работы (ПВ-50%) с продолжительностью цикла 10 мин. Он имеет закрытое исполнение. Техническая характеристика двигателя приведена в табл. 2.

Электродвигатель 2SM-132L применяют на троллейбусе 9Тр в качестве привода компрессора. Двигатель компрессора 2SM-132L закрытого исполнения, самовентилируемый. Техническая характеристика электрических машин, применяемых на подвижном составе производства ЧССР:

Тип двигателя	2SM-132L	SMD-16Ab
Назначение	двигатель компрессора	двигатель-генератор
Возбуждение	последовательное	параллельное
Напряжение, В	600	600 32
Часовая мощность, кВт	2,0	5 1,6
Ток часового режима, А	4,2	12 50
Частота вращения ротора, об/мин	2500	1750 1750
Масса, кг	160	Всего аппарата—267

5. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ НА НАПРЯЖЕНИЕ 24 И 12 В

Вспомогательные электрические машины постоянного тока работают на номинальном напряжении 24 и 12 В. К этим машинам относятся двигатели привода дверей, гидроусилителя рулевого управления, привода группового реостатного контроллера, ускорителя, стеклоочистителей, вентиляторов электропечей и кабины водителя и др.

Конструкция этих двигателей аналогична конструкции высоковольтных электрических машин. Технические характеристики двигателей приведены в табл. 3.

Электродвигатели Г-108А и Г-108Г применяют в качестве электроприводов дверей: Г-108А — на троллейбусе ЗиУ-9 и Г-108Г — на трамвайном вагоне КТМ-5М-3; это двигатели двухполюсные защищенного исполнения с самовентилирующей. Двигатель Г-108А имеет последовательное возбуждение, а Г-108Г — параллельное. Рабочий цикл их складывается из двустороннего вращения якоря. При этом каждому направлению вращения двигателя Г-108А соответствует возбуждение одной из двух обмоток 4 полюсов (рис. 10, а). Изменение направления вращения якоря двигателя Г-108Г про-

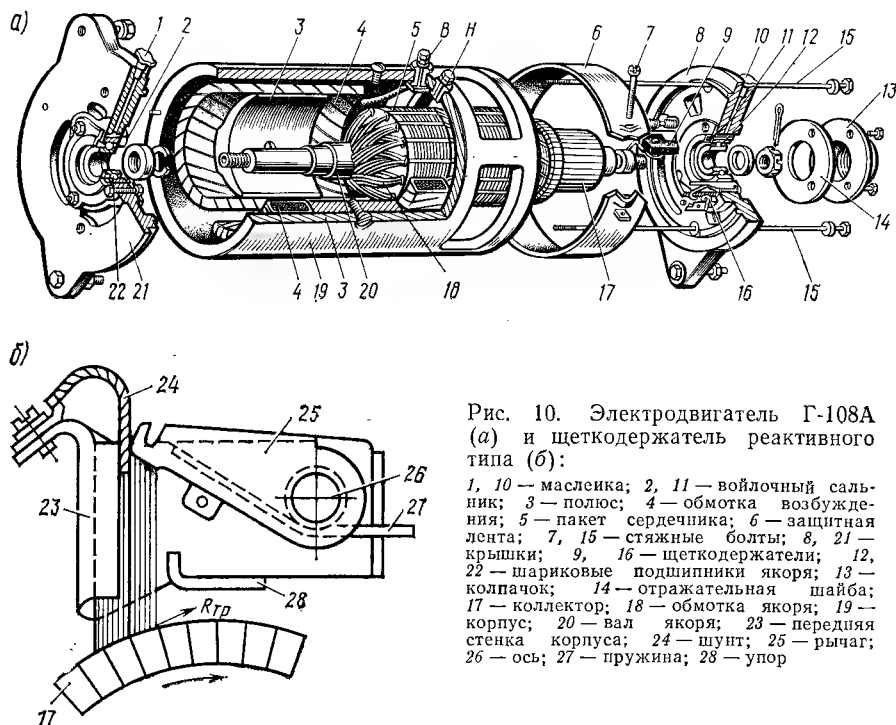


Рис. 10. Электродвигатель Г-108А (а) и щеткодержатель реактивного типа (б):

1, 10 — масленка; 2, 11 — войлочный сальник; 3 — полюс; 4 — обмотка возбуждения; 5 — пакет сердечника; 6 — защитная лента; 7, 15 — стяжные болты; 8, 21 — крышки; 9, 16 — щеткодержатели; 12, 22 — шариковые подшипники якоря; 13 — колпачок; 14 — отражательная шайба; 17 — коллектор; 18 — обмотка якоря; 19 — корпус; 20 — вал якоря; 23 — передняя стенка корпуса; 24 — шунт; 25 — рычаг; 26 — ось; 27 — пружина; 28 — упор

Таблица 3

Показатели	Значения показателей для двигателей			
	Г-732А	Г-108А (Г-108Г)	DS-7	ускорителя
Тип возбуждения	Параллельное	Последовательное (параллельное)	Последовательное	Параллельное
Напряжение, В	24	24	24	10,5/24*
Мощность, Вт	1200	200	185	26
Частота вращения якоря, об/мин	1380	1200	1750	300
Сопротивление при 20° С, Ом:				
обмотки якоря	1,23	0,568	0,23	0,71
параллельной обмотки возбуждения	3,5	(5,75)	—	43,5
последовательной обмотки возбуждения	—	0,27	0,091	—
Масса, кг	45	9,10	—	—
Число витков катушки возбуждения	620	70	72	1460

* К обмотке якоря подводится напряжение 10,5 В; обмотка возбуждения питается напряжением 24 В.

исходит при изменении направления тока в обмотке возбуждения двигателя.

Щеткодержатели двигателя Г-108 — реактивного типа: щетки в нем установлены не по радиусу коллектора, а под углом 26—28° навстречу вращению коллектора. Нажим на щетку создается пружиной (рис. 10, б), которая рычагом прижимает щетку к коллектору и к передней стенке корпуса щеткодержателя. Между щеткой и упором предусмотрен зазор 0,5—0,7 мм для предотвращения заклинивания щетки. При вращении якоря реакция силы трения $R_{тр}$ снижает давление щетки на переднюю стенку щеткодержателя. Ввиду этого трение щетки уменьшается, и она не отрывается от неровностей коллектора даже при большой частоте вращения. В результате резко снижается вибрация щетки, а искрение под ней становится незначительным.

Электродвигатель DS-7 служит электроприводом дверей на трамвайном вагоне Т-3. Двигатель DS-7 двухполюсный с последовательным возбуждением, имеет двустороннее вращение якоря. Как и в двигателе Г-108А, каждому направлению вращения соответствует возбуждение одной из двух обмоток полюсов. Техническая характеристика двигателя приведена в табл. 3.

Электродвигатель Г-732А применяют на троллейбусе ЗиУ-9 в качестве привода насоса гидроусилителя рулевого управления. Двигатель Г-732А представляет собой четырехполюсную электрическую машину закрытого исполнения с внешним обдувом от вентиляторов, укрепленных на концах вала якоря. Корпус (рис. 11) и полюсные сердечники двигателя изготовлены из низкоуглеродо-

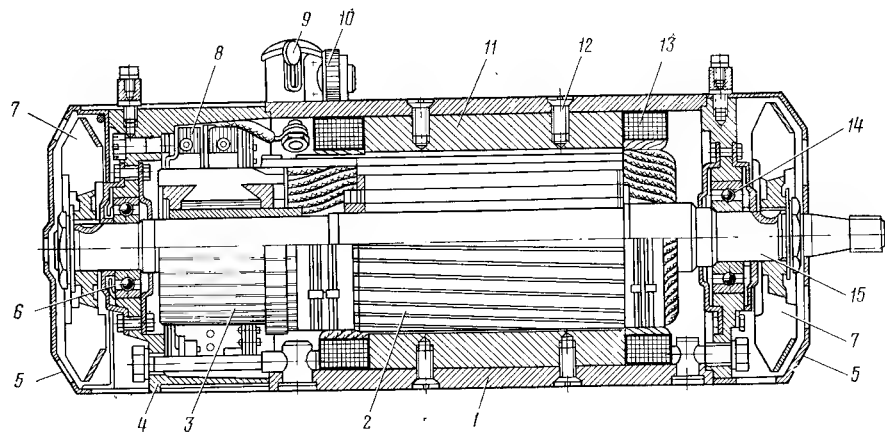


Рис. 11. Двигатель Г-732А насоса гидроусилителя:

1 — корпус; 2 — сердечник якоря; 3 — коллектор; 4 — траверса; 5 — крышка; 6, 14 — подшипники якоря; 7 — вентиляторы; 8 — щеткодержатели; 9 — зажим; 10 — штипельный разъем; 11 — сердечник полюса; 12 — винт; 13 — катушка возбуждения; 15 — вал якоря

дистой стали, позволяющей быстро изменять магнитный поток при работе двигателя. Обмотка возбуждения разделена на две параллельные ветви — в каждой по две катушки, соединенные последовательно. Пакет сердечника набран из листов электротехнической стали, изолированных лаком для уменьшения потерь на вихревые токи. Пазы сердечника скошены, что способствует уменьшению шума при работе двигателя. Щеткодержатели двигателя соединены с зажимами, которые маркируются Я1 и Я2.

Электродвигатель привода ускорителя выполнен двухполюсным с параллельным возбуждением и двусторонним вращением. Причем каждому направлению вращения соответствует изменение направления тока в обмотке якоря. К якорю ускорителя подводится напряжение 10,5 В, к обмотке возбуждения — 24 В. Вал якоря со стороны коллектора имеет четырехгранную цапфу, на которую насаживается фланец карданного вала. Вращающий момент от двигателя на червячный редуктор ускорителя передается через карданный вал с мягкими карданами. Техническая характеристика двигателя ускорителя приведена в табл. 3.

6. ГЕНЕРАТОРЫ СОБСТВЕННЫХ НУЖД

Генераторы собственных нужд на электрическом подвижном составе городского транспорта приводятся в действие либо вспомогательным, либо тяговым двигателями. Электрическая энергия, вырабатываемая генератором собственных нужд, расходуется на питание цепей освещения, сигнализации, управления, заряд аккумуляторной батареи, а также на питание электродвигателей.

Для питания цепей управления трамваев и троллейбусов обычно выбирают генераторы с номинальным напряжением 24 В.

С целью упрощения электрооборудования во многих случаях генератор собственных нужд и вентиляторы отопительно-вентиляционной системы приводятся в действие от одного двигателя.

Иногда генератор выполняют в блоке с двигателем, как, например, на трамвайном вагоне Т-3 (якоря генератора и двигателя монтируют на один вал). Такой агрегат называют двигатель-генератором. На трамвайном вагоне КТМ-5М-3 применяют генератор Г-731; на троллейбусе ЗиУ-9 — генератор Г-263 или Г-263А; на троллейбусе 9Тр — альтернатор 443 113 518 331.

Генератор Г-731 с параллельным возбуждением представляет собой четырехполюсную электрическую машину закрытого исполнения. Конструкция его аналогична двигателю Г-732А (см. рис. 11). Номинальное напряжение генератора 26 В, длительная мощность 1,5 кВт, номинальный ток 52 А, максимальная частота вращения якоря 3000 об/мин, масса 44 кг.

Генератор Г-263 (Г-263А) трехфазный, синхронный, переменного тока, с электромагнитным возбуждением. Для выпрямления переменного тока в генератор вмонтирован выпрямительный мостик с кремниевыми выпрямителями.

Трехфазные синхронные генераторы переменного тока с электромагнитным возбуждением по конструкции проще генераторов постоянного тока, имеют меньшие размеры и массу при одинаковой мощности. Из-за отсутствия коллектора они более надежны в эксплуатации.

Статор генератора набран из пластин, изготовленных из электротехнической стали, и по внутренней окружности имеет пазы, в которые уложена обмотка. Обмотка статора трехфазная, выполнена в виде отдельных катушек, соединенных в звезду. В каждой фазе по шесть катушек.

Ротор состоит из катушки возбуждения, намотанной на стальную втулку, к торцам которой примыкают два клювообразных полюса. Втулка и полюса ротора закреплены на валу прессовой посадкой. На вал напрессованы контактные кольца, к которым припаяны выводы обмотки возбуждения. Вал ротора вращается в шариковых подшипниках, установленных в крышках из алюминиевого сплава. На крышке со стороны контактных колец укреплены выпрямительный мостик с кремниевыми выпрямителями, к которым подсоединены концы обмотки статора и два щеткодержателя с двумя щетками в каждом. Нажатие щеток 2,2 Н.

В начале работы генератора, когда частота вращения ротора и напряжение генератора малы, обмотка возбуждения получает питание от аккумуляторной батареи. При увеличении частоты вращения ротора напряжение генератора растет. Когда оно станет выше напряжения аккумуляторной батареи, обмотка возбуждения начинает питаться от генератора через выпрямительный мостик. Постоянный ток, проходя по обмотке возбуждения генератора, создает вокруг ротора сильный магнитный поток. При вращении ротора под каждым зубцом статора проходит то северный, то южный полюс ротора. Магнитный поток полюсов ротора

пересекает обмотку статора и в ней индуцируется э. д. с. Концы фазной обмотки статора соединены с трехфазным выпрямителем, который выпрямляет переменный ток статора.

Генератор называется синхронным потому, что частота его тока пропорциональна частоте оборотов ротора генератора.

Технические характеристики генераторов следующие:

Тип генератора	Г-263	Г-263А
Напряжение, В	28	25
Частота вращения ротора, об/мин:		
номинальная	2100	2100
наибольшая	2600	2500
Ток, А:		
часового режима	150	150
длительный	120	120
возбуждения	3,5	3,5
Масса, кг	22	22

Альтернатор — шестиполусный трехфазный синхронный генератор переменного тока с выпрямительным мостом. Он установлен под кузовом троллейбуса 9Тр впереди тягового двигателя и крепится к кронштейну подшипникового щита двигателя. Кожух 1 альтернатора (рис. 12) изготовлен из сплава алюминия. В кожухе размещен статор 8, набранный из листов электротехнической стали и имеющий 36 пазов, в которые уложена трехфазная обмотка 5. Ротор вращается в шариковых подшипниках 2 и 14, установленных в крышках. Крышки стянуты болтами 7. На валу 13 ротора укреплены контактные кольца 4, сердечник 6 с обмоткой возбуждения 10, клювообразные полюсы 9 и шкив 12 с вентилятором 11. Обмотка возбуждения выполнена медным проводом, выводы об-

мотки ротора припаяны к медным контактным кольцам, с которых снимается ток угольными щетками токосъемного устройства 3. Щетки прижаты к контактным кольцам пружинами.

Для охлаждения альтернатора во время работы вентилятор 11 засасывает воздух из салона троллейбуса через заборник, резиновый шланг и патрубок на кожухе альтернатора. Выпрямительный мост предназначен для выпрямления переменного трехфазного тока. Он выполнен из кремниевых диодов. Напряжение альтернатора 443 113 518 331 составляет 28 В, максимальная частота вращения ротора 6000 об/мин, максимальный ток 60 А, масса 12,5 кг.

7. ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Тяжелые условия работы тяговых электродвигателей и вспомогательных электрических машин требуют систематического и тщательного ухода за ними. Безаварийная работа двигателей может быть обеспечена в том случае, если в процессе эксплуатации все доступные осмотру части двигателя будут регулярно наблюдаться.

Проверяют надежность крепления двигателя, целостность выводных и соединительных проводов. Смотровые люки двигателя должны быть плотно закрыты крышками. Периодически очищают от грязи проволочные сетки всасывающего патрубка металлическими щетками.

Коллектор двигателя требует тщательного ухода, так как от его состояния зависит качество коммутации. Причиной плохой коммутации может быть износ рабочей поверхности коллектора под щетками, эксцентricность или распушивание коллектора. При значительной выработке под щетками (более 0,5—0,8 мм) или эксцентricности коллектора его следует проточить и продорожить. Продороживать коллектор необходимо потому, что при его износе миканит между коллекторными пластинами может выступать над поверхностью коллектора, так как медь мягче миканита и быстрее изнашивается. Продороживают коллектор на глубину 1,0—1,5 мм.

В случае если коллектор обожжен круговым огнем, почернел и имеет наплывы, его надо почистить стеклянной бумагой № 10—12, закрепленной на деревянной колодке с углом охвата поверхности коллектора не менее 30°.

При эксплуатации коллектор покрывается полированным слоем темно-коричневого цвета, наличие которого снижает износ щеток и коллектора. Во время чистки нарушают полированную поверхность коллектора, поэтому часто чистить его не следует.

Осматривая щеткодержатели, проверяют надежность их крепления. Грязь и копоть с изоляторов щеткодержателей и коллектора удаляют чистой тряпкой, слегка смоченной в бензине. Проверяют износ щеток по высоте, предельно износившиеся заменяют. Для равномерного распределения тока между ними следует одновременно заменять все щетки одного щеткодержателя. Новые щетки перед установкой на электродвигатель предварительно притирают. Эту операцию выполняют также стеклянной бумагой

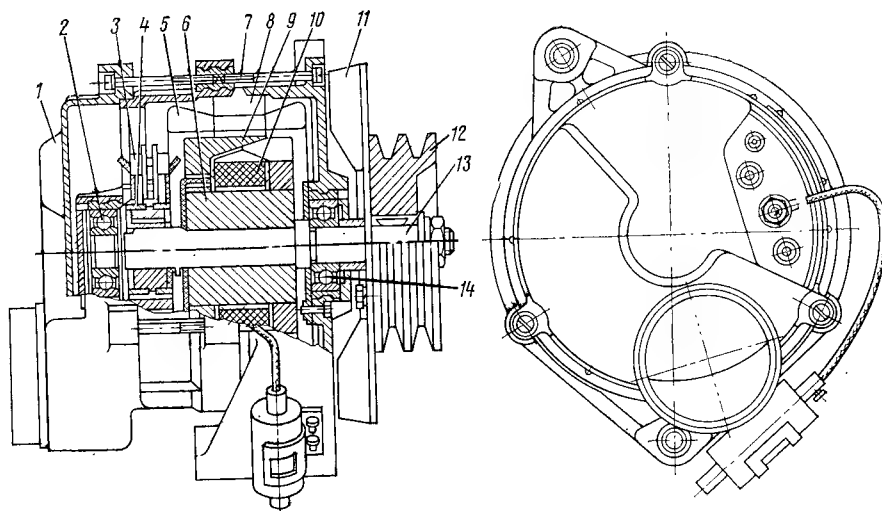


Рис. 12. Альтернатор троллейбуса 9Тр

№ 10—12, которую пропускают между щеткой и коллектором рабочей поверхностью к щетке и протаскивают несколько раз под щетками, прижатыми пружинами щеткодержателей. Щетки, которые остаются на двигателе во время притирки новых, поднимают, чтобы не испортить их поверхность, приработавшуюся к коллектору. Щетки должны свободно, без заеданий перемещаться в обойме щеткодержателей. После окончания их притирки и шлифовки коллектора двигатель очищают от угольной и медной пыли путем продувки его сухим сжатым воздухом. Пружины щеткодержателей должны обеспечивать равномерное и стабильное нажатие на щетки на всем рабочем диапазоне от положения, соответствующего новой щетке, до положения, которое соответствует максимально изношенной щетке. Выработка щетки под нажимным пальцем не должна превышать 1,5 мм.

Во время работы двигателя нельзя допускать нагрев подшипников выше установленной температуры, а шум их должен быть умеренным и равномерным. При появлении неравномерного шума или перегрева подшипники следует осмотреть и устранить неисправность.

В весеннее и осеннее время года, в периоды дождей, оттепелей и обильных снегопадов возможно попадание внутрь двигателей влаги, что приводит к снижению сопротивления изоляции и может вызвать пробой изоляции на корпус. Поэтому очень важно следить за состоянием изоляции двигателей, не допуская снижения сопротивления изоляции ниже 0,6 МОм. При уменьшении сопротивления изоляции ниже указанного значения проверяют отдельные части двигателя (обмотку якоря, катушки главных и добавочных полюсов, щеткодержатели и кабели) и устраняют причину недопустимого снижения сопротивления изоляции.

ГЛАВА II

ТОКОПРИЕМНИКИ

8. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОКОПРИЕМНИКОВ

Требования к токоприемникам. Токоприемники осуществляют электрическое соединение между контактными проводами и электрическим оборудованием подвижного состава. По конструктивному исполнению подъемного механизма токоприемники можно подразделить на однорычажные и многорычажные. К однорычажным токоприемникам относятся штанговые и дуговые, к многорычажным — пантографные. Штанговые токоприемники применяют на троллейбусах, на трамвайных вагонах — дуговые, пантографные (полупантографные) и штанговые.

Токоприемники должны удовлетворять следующим требованиям: обеспечивать требуемое нажатие контактной головки на контактный провод; надежный безыскровый токосъем при различной высоте подвески контактных проводов, больших скоростях движения, колебаниях провода и подвижного состава, отклонениях оси подвижного состава (троллейбуса) от оси контактных проводов; надежное взаимодействие между головками токоприемников и контактной сетью особенно в местах подвески контактных проводов, пересечений, стрелок, изоляторов и других спецчастей, а также иметь достаточную прочность конструкции, небольшую массу подвижных частей и износостойчивость, обеспечивающие безребойную и безопасную эксплуатацию подвижного состава; на дежную изоляцию токоприемников от корпуса подвижного состава и троллейбусных токоприемников друг от друга.

Недостаточное нажатие контактной части токоприемника на контактный провод приводит к нарушению контакта и образованию электрической дуги при токосъеме, вызывая превышение температуры, оплавление и разрушение контактного провода. Чрезмерное увеличение нажатия вызывает повышенный износ контактного провода и контактной части токоприемника, а также может привести к поломке деталей токоприемника и спецчастей контактной сети.

Статические и динамические характеристики токоприемников.

Во время перемещения токоприемника по контактному проводу изменяется высота контакта вследствие изменения высоты контактного провода, эластичности сети, упругих колебаний подвижного состава и неровностей пути. Во избежание отскокивания контактной части от контактного провода контактное нажатие должно быть по возможности постоянным.

Силы, действующие на штанговый и пантографный токоприемник при движении подвижного состава (рис. 13): P_1 — сила реакции контактного провода на контактную часть, равная давлению контактной части на контактный провод; G_1 — вес контактной головки токоприемника; G — вес штанги и штангодержателя; $P_2 = P_1 f$ — сила трения при взаимодействии контактной части и контактного провода; f_1 — коэффициент трения контактной части токоприемника о контактный провод; G_2 — вес верхних рам токоприемника; G_3 — вес нижних рам токоприемника; P — сила натяжения пружин.

При малых скоростях движения высота токоприемника изменяется медленно и контактное нажатие колеблется в сравнительно небольших пределах. Статическая характеристика представляет зависимость контактного нажатия P при медленном изменении положения токоприемника в вертикальной плоскости.

Статические характеристики однорычажных токоприемников — штангового РТ-6И (рис. 14) и дугового М1Б даны с учетом сил трения в шарнирах.

Оптимальную статическую характеристику находят подбором натяжных пружин и соответствующих размеров плеч действующих сил.

Кинематическая схема пантографного токоприемника позволяет лучшим образом обеспечить постоянство нажатия на контактный провод при изменениях высоты его подвеса. Но силы трения в пантографном токоприемнике несколько больше, чем у штанговых и дуговых, поэтому разность давлений на контактный провод при опускании и подъеме у пантографных токоприемников получается больше.

При больших скоростях движения подвижного состава резко изменяется высота токоприемника и возникают значительные инерционные силы, существенно влияющие на контактное нажатие. Оно изменяется от нуля до опасного значения, которое может вызвать разрушения токоприемника и контактной сети. В случае исчезно-

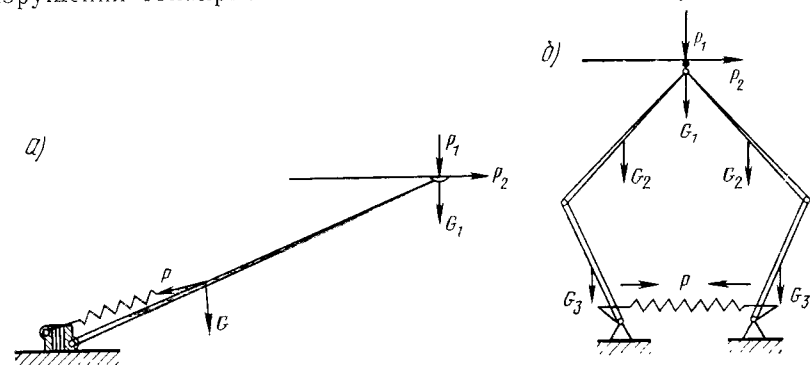


Рис. 13. Силы, действующие на однорычажные (штанговые) (а) и много-рычажные (пантографные) (б) токоприемники

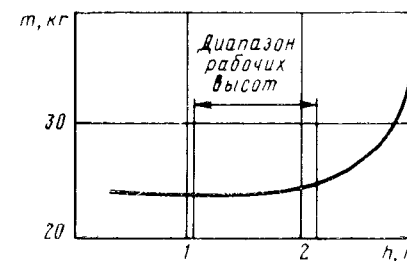
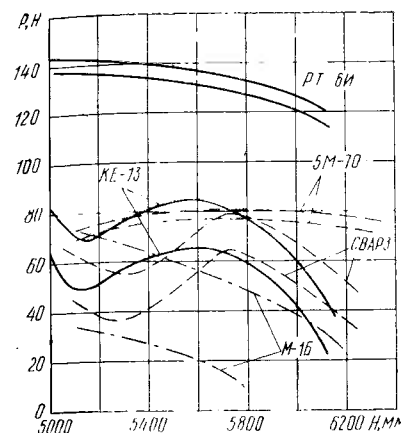


Рис. 15. Динамическая характеристика пантографного токоприемника

Рис. 14. Статические характеристики токоприемников М-1Б; СВАРЗ (полупантографного типа); KE-13; 5М-70; РТ-6И

вения контактного нажатия нарушается контакт и возникает электрическая дуга, искрение, токоприемник может сойти с контактного провода. Для получения надежного токосъема при больших скоростях движения необходимо обеспечить наименьшие изменения контактного нажатия по сравнению с номинальным значением.

Динамическая характеристика пантографного токоприемника представляет зависимость приведенной массы токоприемника от высоты его подъема (рис. 15). Чем больше приведенная масса токоприемника, тем больше должно быть статическое нажатие в месте контакта, но увеличение статического давления контакта отрицательно влияет на взаимодействие токоприемника с контактной сетью и увеличивает их износ. Поэтому необходимо стремиться обеспечить возможно меньшие массы движущихся частей, наименьшие вертикальные перемещения и эластичность отдельных элементов токоприемников. Именно этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяют пантографные токоприемники.

Следует отметить, что на подвижном составе городского электрического транспорта более сложные условия токосъема имеют троллейбусы, так как для питания троллейбуса требуются два токоприемника, допускающих значительное отклонение троллейбуса от контактной сети.

9. КОНСТРУКЦИЯ ТОКОПРИЕМНИКОВ И ИХ ОБСЛУЖИВАНИЕ

Конструкция токоприемников. Дуговой токоприемник М-1Б состоит из основания 1 (рис. 16), съемной трубчатой рамы 2 и контактной вставки 3. Основание (рис. 17) имеет две чугунные стойки 1, в которых конусными шпильками 2 закреплен горизонтальный вал 3. На валу на бронзовых втулках 4 установлены два кронштейна 5, связанные между собой планкой 11, свободно поса-

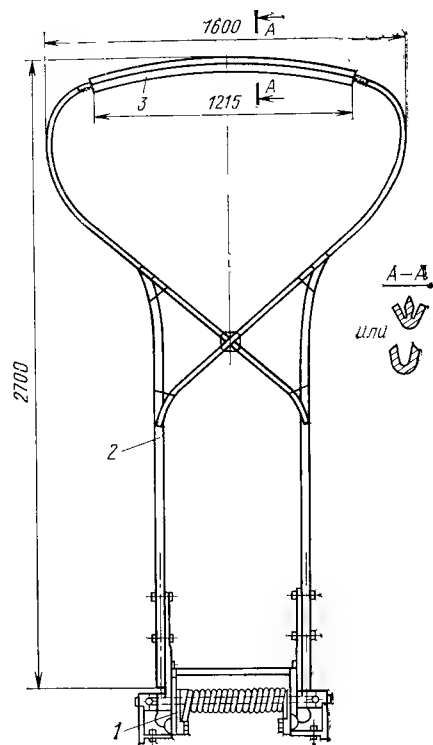


Рис. 16. Дуговой токоприемник типа М-1Б

контактной вставки токоприемника, наклоненного под углом 60° к горизонтالي (на высоте 1,6 м от оси вала), на контактный провод в пределах 45—70 Н. Натяжение пружины регулируется двумя болтами 15. Предварительный угол закручивания пружины составляет 10° , нормальный — 40° и наибольший 100° .

Рама токоприемника состоит из нижней и верхней частей и крестовины и представляет собой конструкцию, сваренную из стальных труб. К кронштейнам 5 основания она крепится четырьмя хомутами 7 так, чтобы расстояние от оси вала основания до высшей точки новой алюминиевой вставки составляет 2900 ± 20 мм.

Контактная вставка в поперечном сечении имеет трехзубую или двухзубую форму (см. рис. 16), изготовлена она из сплава алюминия (медь 2—4,5%, железо не более 0,8%, кремний не более 0,8%, цинк, сурьма не более 0,1%, остальная часть алюминий). Пробег алюминиевой контактной вставки составляет от 6 до 10 тыс. км. К башмакам рамы контактная вставка крепится болтами. Для уменьшения износа контактного провода и вставки в желоба вставки закладывают консистентную графитовую смазку УССА. Смазка шарниров оси основания осуществляется жировой смазкой

женные два держателя 8 и цилиндрическая пружина 10 (сталь марки Ст7). Концы пружины надежно прикреплены к держателям зажимами 16. На цапфах держателей свободно сидят левый и правый упорные рычаги 6 и 12 (лапы). Их верхние концы расположены по обе стороны планки 11. Каждый рычаг может свободно поворачиваться вокруг оси вала только в одну сторону и его положение относительно держателя регулируется болтами 15. При наклоне дуги по часовой стрелке планка 11 поворачивает рычаг 12 (вид по стрелке А), который упираясь в головку болта 15, перемещает держатель 9, закручивая пружину. С помощью болтов регулируется правильное положение упорных рычагов и держателя, а следовательно, и нажатие контактной части токоприемника на контактный провод. Пружина 10 подъемного механизма должна обеспечивать нажатие

марки 1-13 через четыре масленки 14, установленные на кронштейнах и держателях.

Токоприемник М-1Б устанавливают на сварном из угловой стали постаменте и изолируют от корпуса вагона фарфоровыми изоляторами. Главную цепь трамвайного вагона присоединяют к болту 13 на торце оси.

Простота конструкции дугового токоприемника облегчает его техническое обслуживание и ремонт. Преимуществом является и сравнительно небольшая приведенная масса верхней подвижной части токоприемника, так как отрывы от контактной сети, особенно при проезде спецчастей, незначительны, а удары о сеть неопасны для сети, так как их сила невелика.

Недостатком дугового токоприемника является то, что он может применяться для пусковых токов до 150 А, так как при больших токах возрастает плотность в месте контакта, что вызывает поджоги и подгары и быстрое изнашивание контактной вставки и провода; конструктивно невыполним привод к дуговому токоприемнику; конструкция его не позволяет осуществлять реверсирование вагона без специальных операций; не обеспечивается постоянство нахождения контактной вставки над шкворнем тележки, что отрицательно сказывается на вписывании вагона в кривую на поворотах и может привести к выходу токоприемника из-под контактного провода. Дуговой токоприемник работает удовлетворительно при скоростях движения до 40—45 км/ч, при больших скоростях не обеспечивается постоянство нажатия на контактный провод. При больших скоростях движения применяют пантографные и полупантографные токоприемники.

Пантографные токоприемники по сравнению с дуговыми имеют ряд преимуществ: они осуществляют надежный токосъем при более высоких скоростях движения и при больших снимаемых токах, контактное нажатие их может быть меньше, в результате чего износ контактной вставки и провода также уменьшается. Пантографный токоприемник позволяет осуществлять движение подвижного состава в любом направлении — вперед или назад.

Поэтому на трамвайных вагонах в основном используют пантографные и полупантографные токоприемники.

Пантографный токоприемник КЕ-13, применяемый на трамвайных вагонах Т-3, состоит из основания 3 (рис. 18, а), двух нижних 1 и двух верхних 11 подвижных рам, токосъемной головки 2 пружинного механизма 7 для подъема токоприемника, ручного привода для опускания токоприемника и защелки (фиксатора) для удержания токоприемника в опущенном положении.

Основание пантографного токоприемника выполнено сварным из стальных уголков. К продольным уголкам 3 (рис. 18, в) болтами 19 крепятся четыре короткие оси 9 с шариковыми подшипниками 20, на которых установлены трубчатые главные валы 4 нижних подвижных рам. Для смазки подшипников предусмотрены масленки 18. К главным валам приварены по три рычага (рис. 18, б); к

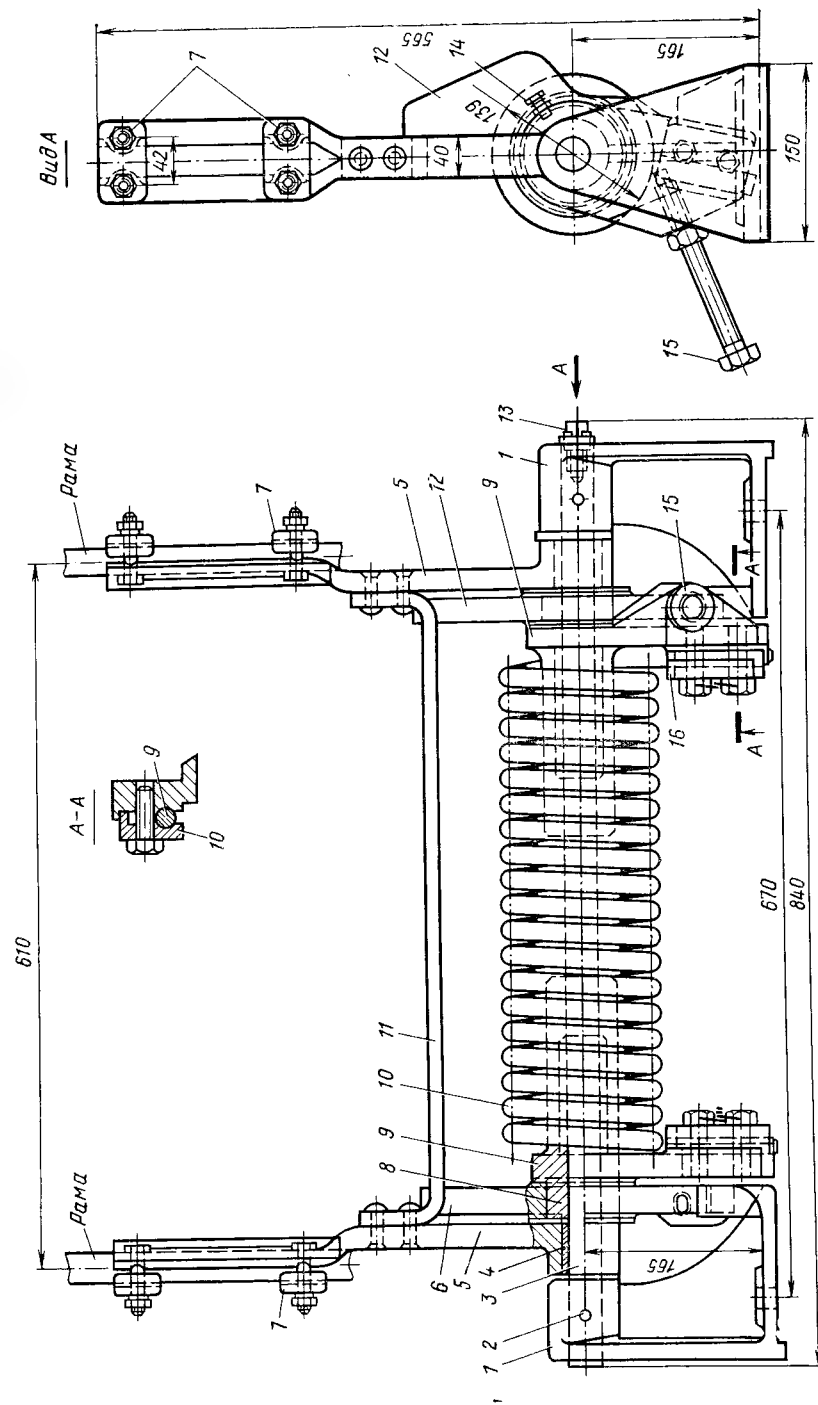


Рис. 17. Основание дугового токоприемника М-1Б

крайним рычагам 16 с помощью регулировочных тяг 8 и держателей 17 крепятся две цилиндрические пружины, а к средним рычагам 15 — соединительная тяга 5, связывающая главные валы между собой и обеспечивающая их одновременный поворот, а следовательно, и подъем рам токоприемника.

Нижние рамы 1 изготовлены из профильной листовой стали и шарнирно соединены с верхними рамами 11, выполненными из стальных труб. Шарнирное сочленение 13 состоит из держателя с шариковым подшипником, внутреннее кольцо которого насажено на ось наконечника верхней рамы. Подшипник закрыт крышкой. Концы верхних рам также шарнирно соединены между собой и с механизмом токосъемной головки 2. Верхние рамы связаны диагональными трубчатыми растяжками 6, создающими жесткость конструкции.

Токосъемная головка состоит из двух корытообразных элементов. На верхнем элементе винтами закреплены две контактные полосы из алюминия, в канавку между ними закладывают сухую графитовую смазку. В вертикальном положении головка токоприемника удерживается нажимными пальцами 14, снабженными пружинами 12, допускающими перемещение вставки в обоих направлениях до 15° . В горизонтальном положении токосъемная головка удерживается образованным рычагами параллелограммом, смонтированным в ее средней части.

Токоприемник КЕ-13 удовлетворительно работает и с токосъемной головкой отечественного производства, имеющей трехрожковую алюминиевую вставку, которая крепится к рычагам с помощью башмаков и болтов. Правильное положение токосъемной головки поддерживается пружинами, установленными между держателями головки и верхними рамами.

Все шарнирные сочленения для защиты от действия тока (электрокоррозии) зашунтированы гибкими медными шунтами, имеющими площадь сечения не менее 25 мм^2 .

У опущенного токоприемника пружины растянуты; стремясь сжаться, они поднимают рамы, прижимая токосъемную головку к контактному проводу. Натяжение пружин регулируют тягами, имеющими для этой цели правую и левую резьбу. Пружины пантографного токоприемника должны обеспечивать нажатие токосъемной головки на контактный провод в пределах $50\text{--}70 \text{ Н}$.

Токоприемник монтируют на крыше вагона на четырех опорных изоляторах 10 (сайлент-блоках), которые служат одновременно резиновыми амортизаторами. Изоляторы укреплены на деревянных брусках, установленных на металлических скобах, которые приварены к крышевым дугам кузова.

Опускание и подъем токоприемника осуществляются из кабины водителя с помощью пенькового каната и системы блоков.

Пантографный токоприемник вагона КТМ-5М-3 отличается конструкцией рам. Нижние рамы выполнены из стальной трубы переменного сечения и приварены к средней части главного вала. Верхние рамы изготовлены в виде равнобедренного треугольника,

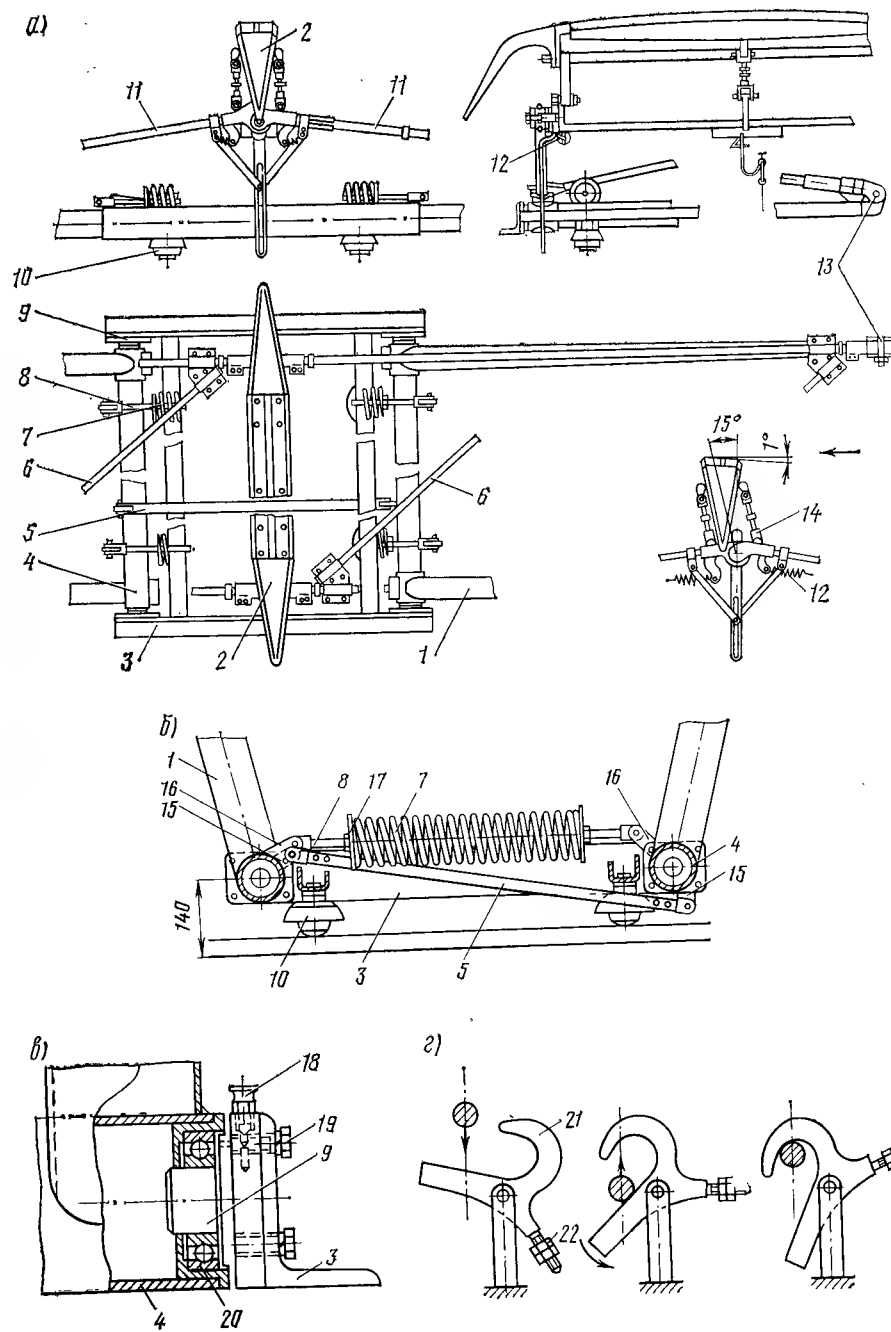


Рис. 18. Общий вид (а), основание с нижней рамой (б), подшипниковый узел (в), фиксирующее устройство-защелка (г) пантографного токоприемника КЕ-13

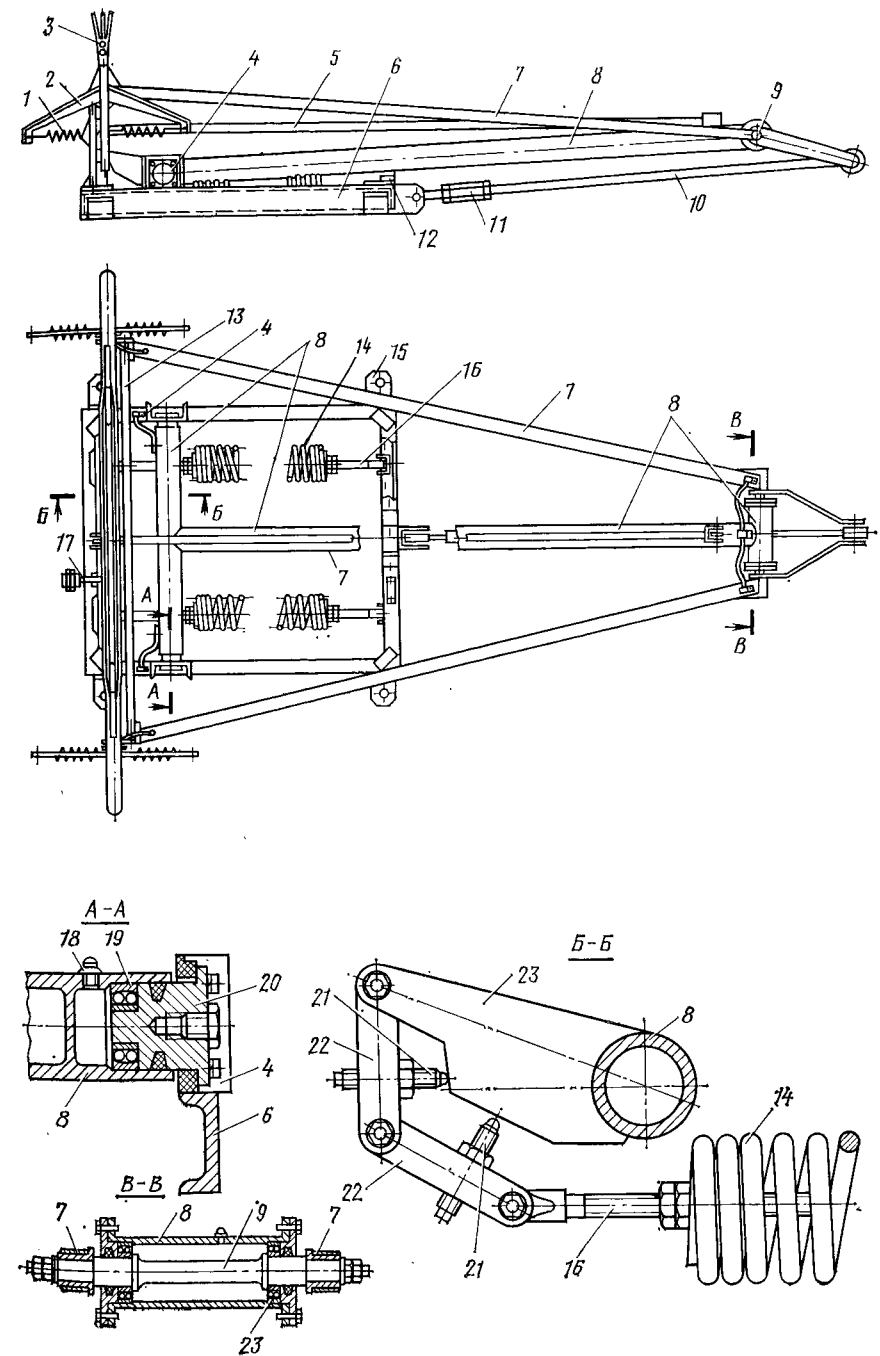


Рис. 19. Полупантографный токоприемник

изготовленного из стальных труб. Вершина его имеет шарнирное сочленение с нижней рамой, а основания шарнирно соединены друг с другом и имеют держатели для крепления контактной головки.

Полупантографный токосъемник АА-38-925 (СВАРЗ) от пантографного отличается простотой конструкции, меньшим числом шарниров, меньшей массой. Он может работать при движении вагона в обоих направлениях.

На рис. 19 полупантографный токоприемник изображен в опущенном состоянии, зафиксированном защелкой 17. К продольным швеллерам 6 основания приварены две стойки 4 с осями 20. На двухрядных шариковых подшипниках 19 оси установлен главный вал 8. Смазывают подшипники через масленку 18. В верхней части главного вала на двухрядных шариковых подшипниках 23 установлен средний вал 9, жестко соединенный с верхней рамой 7. Верхняя рама выполнена пустотелой из листового стали сварной конструкции и имеет квадратное поперечное сечение. В верхней части боковины рамы связаны распорной трубой 13 и валом каретки (верхним валом). На шариковых подшипниках вала каретки установлены держатели контактной головки 3 и на шпонке крепятся два коромысла 2 с пружинами 1, устанавливающими токосъемную головку в среднее положение по отношению к коромыслам. На правильно собранном и отрегулированном полупантографном токоприемнике токосъемная головка 3 должна отклоняться от вертикали назад на угол около 5° при высоте токоприемника от его опорной поверхности до середины контактной вставки 1400 мм. Положение каретки, а следовательно, и токосъемной головки регулируется изменением длины верхней регулировочной тяги 5. Удлинение тяги вызывает отклонение каретки назад.

Угол наклона главного вала 8 у опущенного токоприемника и зазор между главным валом и резиновым буфером 12 определяет способность полупантографного токоприемника складываться при прохождении под низкими мостами и путепроводами и регулируется изменением длины нижней тяги 10. Для этого на тяге 10 предусмотрена стяжная муфта 11.

Подъемный механизм состоит из двух натяжных пружин 14, которые крепятся к кронштейнам основания и кронштейнам 23 главного вала посредством серег 22 и регулировочных тяг 16. Натяжение пружин регулируется тягами 16, имеющими одна правую и другая левую резьбу, и двумя регулировочными винтами 21. Пружины должны обеспечивать нажатие контактной вставки на контактный провод в пределах 60—80 Н.

Для установки полупантографного токоприемника на крыше вагона имеются кронштейны 15, приваренные к основанию токоприемника.

Пантографные и полупантографные токоприемники в опущенном положении удерживаются специальной защелкой (рис. 18, з). При резком опускании токоприемника происходит западание крюка 21 за распорную трубу токоприемника. При медленном опус-

кании крюк поворачивается и распорная труба захватывается им, позволяя подняться токоприемнику. Положение крюка регулируется гайкой-барашком 22, укрепленным на продолжении хвостовика.

Пантографный и полупантографный токоприемники позволяют снимать значительные токи при высоких скоростях движения. Они обеспечивают возможность реверсирования вагона. Пантографный токоприемник обеспечивает хорошую вписываемость в кривые из-за постоянства нахождения контактной вставки над шкворнем тележки.

Недостатками пантографного и полупантографного токоприемников являются большая приведенная масса верхней подвижной части, поэтому удары токоприемника по контактной сети при отскоках будут значительными и могут привести к обрыву сети; сложность конструкции, которая усложняет техническое обслуживание и ремонт. Кроме того, полупантографный токоприемник имеет сложную систему регулировки. Из-за значительных потерь в шарнирных соединениях токоприемников не обеспечивается постоянно нажатия токосъемной головки на контактный провод при изменении высоты подвески контактной сети (разброс составляет 30—110 Н при норме 70 Н).

Ведутся разработки других конструкций трамвайных токоприемников. Прошел испытания токоприемник 5М-70, разработанный Омским институтом инженеров транспорта.

Штанговый токоприемник 5М-70 отличается от ранее рассмотренных тем, что элементы подрессоривания выполнены в виде двух кареток, укрепленных на верхнем валу Т-образной штанги.

Штанга (рис. 20, а) выполнена в виде тонкостенной трубы (1 мм толщиной) и диаметром 83 мм, ее длина составляет 4000 мм. Штанга имеет два трубчатых подкоса 4. Нижний конец штанги и подкосы жестко скреплены с главным валом 5 с помощью болтового соединения, что позволяет при необходимости осуществить легкую ее замену. Главный вал вращается на шариковых подшипниках, установленных на неподвижной оси основания 6, выполненного из стальных труб сварной конструкции. Статическое нажатие токосъемной головки на контактный провод осуществляется подъемными пружинами 7, изменение натяжения которых выполняется с помощью регулировочных тяг. Контактная головка токоприемника имеет двойную алюминиевую вставку 1 и трубчатые рога 2.

Уравнительный механизм токоприемника (рис. 20, б), обеспечивающий горизонтальное размещение контактной головки, выполнен в виде тросовой передачи 11, нижний шкив 8 которой насажен на неподвижную ось главного вала, а верхний подвижной шкив 12 на вал с каретками. Тросовая передача уравнительного механизма размещена внутри штанги 3. Угол подъема штанги в диапазоне рабочей высоты составляет $25-35^\circ$, что обеспечивает почти одинаковые условия работы токоприемника при движении штанги на-

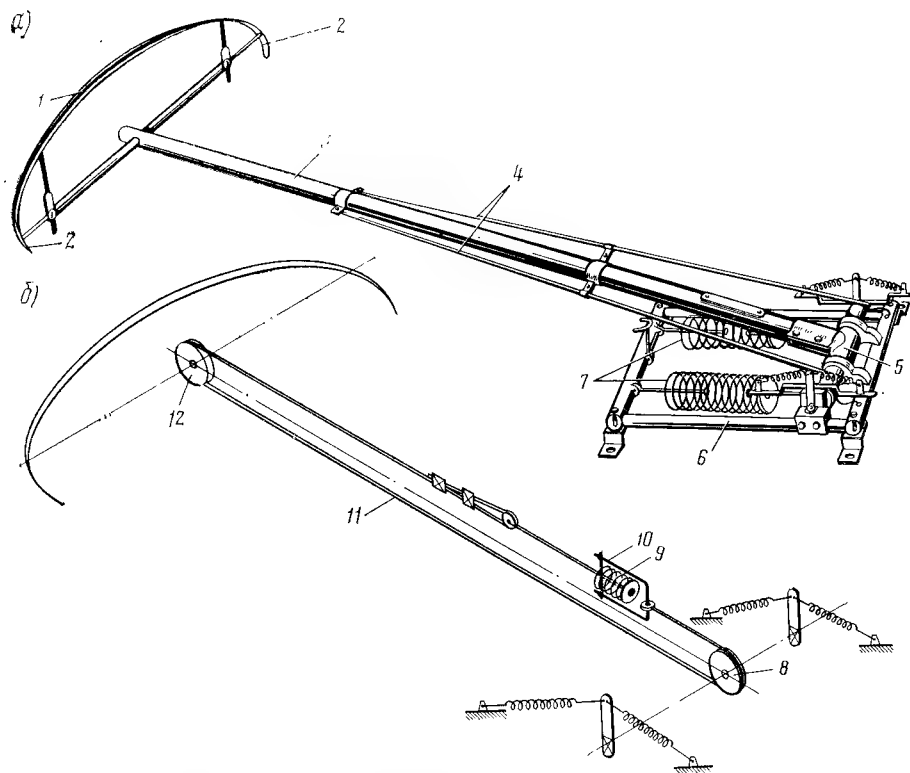


Рис. 20. Штанговый токоприемник 5М 70

зад или вперед. Пружинный элемент, вмонтированный в верхнюю ветвь уравнительного троса, обеспечивает упругое отклонение контактной головки назад при прохождении препятствий на контактной сети. Последствия удара ввиду этого сводятся к минимуму. Пружинный элемент выполнен в виде рамки 10, внутри которой размещена пружина 9, и соединяется с тросом посредством регулировочной муфты, позволяющей регулировать натяжение синхронизирующего троса.

Демпфирующее устройство токоприемника 5М-70, предназначенное для стабилизации контактного нажатия, выполнено на базе автомобильного амортизатора.

Штанговый токоприемник 5М-70 имеет незначительную приведенную массу верхней подвижной части, позволяет снимать значительные токи при высоких скоростях движения, обеспечивает постоянство нажатия на контактный провод при изменении высоты подвески контактной сети.

Недостатками его являются неудовлетворительная вписываемость в кривые, так как не обеспечивается постоянство нахождения контактной вставки над шкворнем тележки; сложность

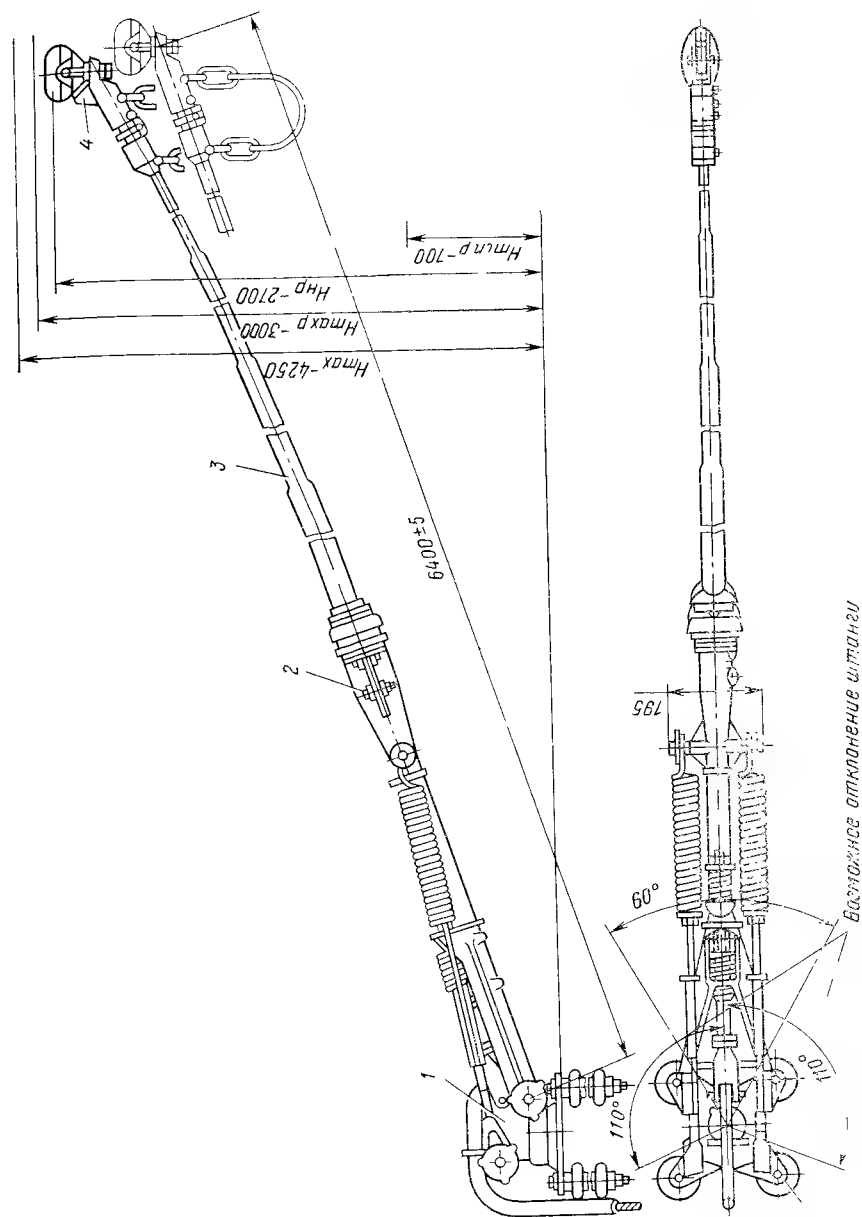


Рис. 21. Токоприемник РТ-6И

Показатели	Значения показателей		
	дугowego М-1Б	пантографного	
Тип вагона	РВЗ-6М-2	КТМ-5М-3	ЛМ-68
Рабочее напряжение, В	550	550	550
Ток, А	400	500	500
Максимальная скорость токосъема, км/ч	50	75	80
Нажатие на контактный провод, Н	45—70	50—70	50—70

для токоприемников				
полупантограф- ного АА-38-925	пантографного КЕ-13	штангового		
		5М-70	РТ-6	5РВ
Трамвай	Т-3	Трамвай	Троллейбус, трамвай	Троллейбус
550	550	550	550	600
350	350	400	150	400
100	80	100	70	80
60—80	50—70	70—80	120—140	80—90

регулировки горизонтального отклонения токосъемной каретки. Штанговый токоприемник 5М-70 устанавливается на постаменте, сваренном из уголкового стали, и изолируется от корпуса вагона фарфоровыми изоляторами, фибровыми шайбами и бакелитовыми втулками, которые надеваются на крепежные болты. Под постамент устанавливают прокладки из резины, поглощающие толчки и вибрации, которые возникают при движении вагона. Технические характеристики рассмотренных токоприемников приведены в табл. 4.

На троллейбусах ЗиУ-9 применяют штанговые токоприемники РТ-6И, на троллейбусах 9Тр производства ЧССР устанавливают токоприемники 5РВ.

Штанговый токоприемник РТ-6И состоит из основания 1 (рис. 21) штангодержателя с пружинами 2, штанги 3 со штанговым приводом и контактной головкой 4. Длина токоприемника равна 6400 ± 50 мм, позволяет троллейбусу отклоняться от оси подвешивания контактных проводов на 4,5 м в любую сторону, что соответствует углу поворота штанги 60° от продольной оси троллейбуса. Рабочая высота от основания токоприемника до контактного провода может изменяться в пределах от 700 до 3000 мм: 700 мм — минимальная рабочая высота $H_{\min/p}$, 2700 мм — нормальная рабочая высота H_{np} , 3000 мм — максимальная рабочая высота $H_{\max/p}$, 4250 мм — максимальная высота $H_{\max}$.

Основание токоприемника состоит из стальной литой опоры 1 (рис. 22) и стального корпуса 2. Два конических роликовых подшипника 40 и 44 дают возможность поворачиваться корпусу на штыре опоры. Выступ 13 в нижней части корпуса, упираясь в прилив 14, ограничивает поворот корпуса на угол 110° в обе стороны от продольной оси троллейбуса. Корпус сверху закрыт крышкой 42, снизу — уплотнительной шайбой 39. На корпусе основания имеются три прилива с отверстиями под валики. Валики верхнего и нижнего приливов зафиксированы винтами 41 и 45. На валике 21 нижнего прилива на двухрядных шариковых подшипниках 22

крепится вилка 12 штангодержателя. Подшипники вилки закрыты крышками 20. В разрезную часть вилки вставлена труба 10 с напрессованным на нее держателем штанги 30. Труба крепится в вилке стяжными болтами 11.

Необходимое нажатие токоприемника на контактный провод создают две пружины 28. Верхние концы пружин отогнуты в виде петель и надеты на валик 29, запрессованный в штангодержатель. Соскакиванию пружин с валика препятствуют шайба 32 и шплинт. Нижние концы пружин 28 соединены с регулировочными тягами 37, предназначенными для регулировки натяжения пружин. В средней части тяги имеется шестигранный под ключ, а по концам тяг — правая и левая резьба. Одним концом тяга ввинчивается в корпус шарнира 16, укрепленного на валике 15 верхнего прилива, а другим — в винтовую пробку (держатель) 27 пружины. Контргайки препятствуют самоотвертыванию регулировочных тяг.

При ввертывании регулировочной тяги в корпус шарнира и держатель пружины регулировочная тяга будет укорачиваться, а натяжение пружины увеличиваться. Пружины 28 должны обеспечивать нажатие токосъемной головки на контактный провод в пределах (140 ± 10) Н при высоте подвески контактного провода 5,5 м. Проверяют нажатие пружинным динамометром.

Высота подъема и опускания в случае схода токоприемника с контактного провода ограничивается двусторонним пружинным буфером. Вилка 23 пружинного буфера с помощью валика 38 крепится к корпусу основания. Хвостовик вилки проходит через отверстие в приливе штангодержателя. По обе стороны от прилива 5 на хвостовике расположены две пружины 25 и 34, усилие которых регулируется гайками 24 и 33. Гайкой 24 регулируют свободную максимальную высоту подъема токоприемника (от полотна дороги до токосъемной головки 7,2 м). При опускании токоприемника удар смягчается пружиной 34 буфера. Наименьшая высота от полотна дороги до токосъемной головки должна быть 2,5 м и регулируется она гайкой 33 пружинного буфера. (На рис. 22 позиции: 17, 36,

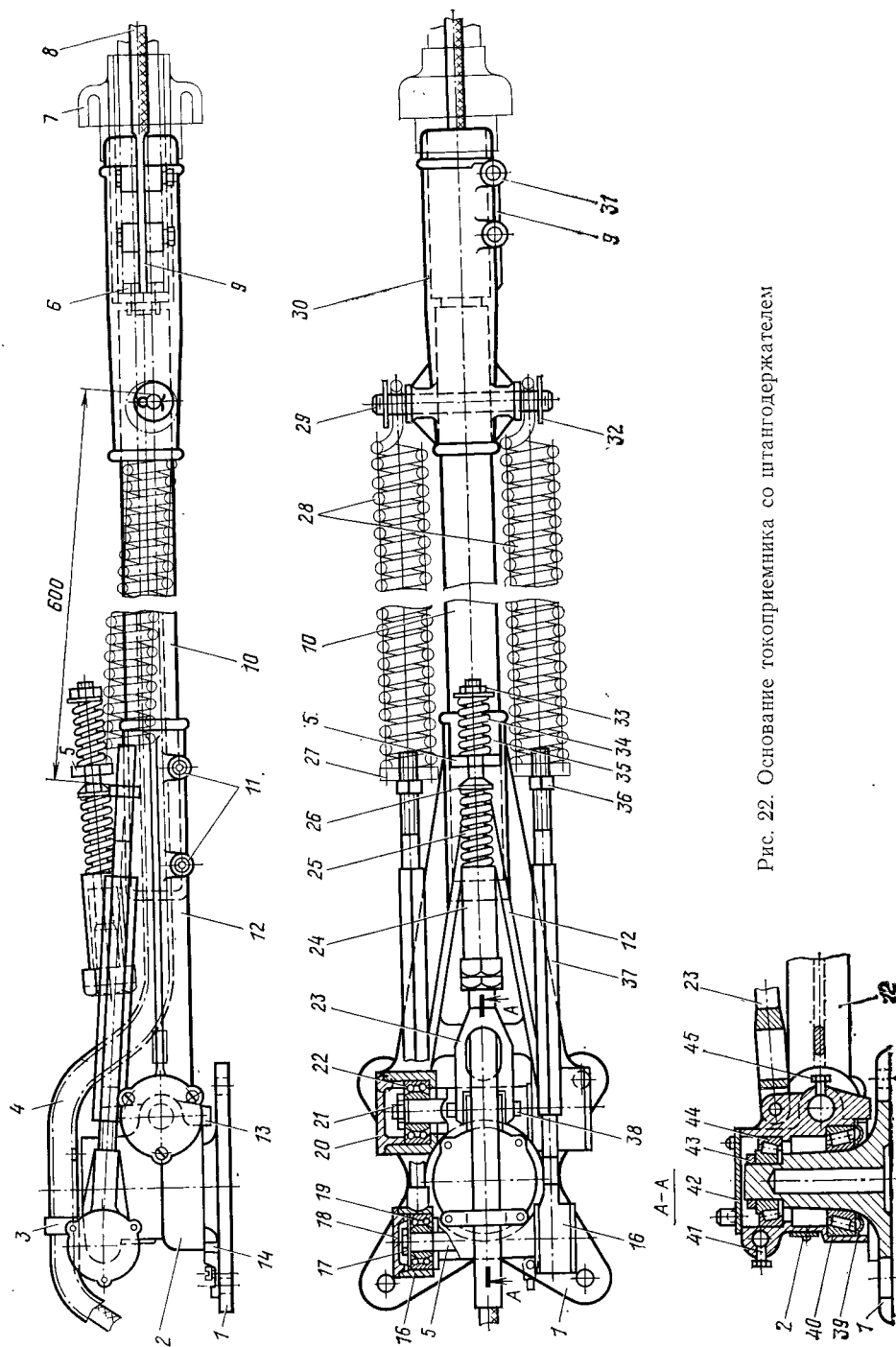


Рис. 22. Основание токоприемника со штангодержателем

43 — гайки; 18 — крышка корпуса шарнира; 19 — двухрядный шариковый подшипник; 26, 35 — сферические шайбы).

Штанга воспринимает удары о контактную сеть при соскакивании токосъемной головки с контактного провода и при прохождении головки по спецчастям контактной сети, поэтому она должна быть прочной и упругой. Она выполнена в виде ступенчатой бесшовной трубы из легированной стали и имеет поверхностное полиэтиленовое напыление. Штанга закреплена в штангодержателе двумя стяжными болтами 31, стягивающими разрезную часть держателя, и изолирована от него бакелитовым изолятором 6. Попаданию влаги в штангодержатель препятствует резиновый изолятор 7, который укреплен на штанге с помощью хомута, а в разрезной части резиновое уплотнение 9. Для предупреждения касания штангой контактного провода в местах низкой подвески контактной сети конец штанги выгнут вверх на 350 мм. Резьба на ее верхнем конце предназначена для крепления токосъемной головки.

Перспективным является изготовление стеклопластиковых штанг. По сравнению со стальными они имеют меньшую массу и стоимость ремонта, дают возможность исключить короткие замыкания между штангами и контактными проводами при соскакивании токосъемных головок с контактных проводов. В случае поломки какой-либо секции штанги на ее место устанавливают новую.

Внутри штанги и штангодержателя проложен токоведущий провод 8 (см. рис. 22) марки ПСШ-3000 сечением 50 мм² и длиной 7,5 м. Верхний конец провода кабельным наконечником соединен с зажимом токосъемной головки, нижний — с реактором помехоподавления. На нижний конец провода, выходящий из штангодержателя, надет резиновый шланг 4. Штанговый провод зафиксирован на корпусе основания стальной скобой 3.

Головка ГТ-14А крепится к штанге токоприемника посредством изолятора, представляющего собой стальную втулку, опрессованную бумажно-бакелитовой изоляцией. Втулка навинчена на резьбу штанги и разрезная часть ее затянута хомутом 1 (рис. 23). На бакелитовый изолятор надеты резиновая втулка 2 и контактная разрезная втулка 3 с зажимом 6 для присоединения наконечника штангового провода (5 — изоляционная втулка). Контактная втулка стянута на изоляторе стяжным болтом 13. На контактной втулке двумя стяжными болтами 12 крепится стальной литой держатель 4.

Подвижная часть токосъемной головки состоит из сферического держателя 10, стального омедненного вкладыша 7, двух латунных щек 15 и контактной вставки 16. Щеки крепятся к вкладышу винтами 17. Положение каждой щеки фиксируют два штифта, запрессованные во вкладыш. Эта подвижная часть головки шарнирно соединяется с башмаком посредством пяты 11, головка которой зажата между сферическими поверхностями вкладыша и держателя 10. Вкладыш к держателю крепится двумя винтами 8. Зазор между сферическими поверхностями держателя 10 и головки пяты должен быть не более 0,2 мм, регулируется он изменением числа прокладок 9 из медной фольги.

В гнездо пяты установлена графитовая щетка 18 с гибким шунтом и пружиной 19, прижимающей щетку к шаровой поверхности вкладыша. Шунт предназначен для отвода тока.

Сферические поверхности сопряженных деталей головки, зазор между ними и продольный паз под пяту в сферическом держателе дают возможность токосъемной головке поворачиваться вокруг пяты и наклоняться в вертикальной плоскости в продольном направлении в обе стороны от горизонтали на угол до 15°. Ленточный ловитель представляет собой прочную хлопчатобумажную ленту с пряжковыми изоляторами 14 и стальными серьгами для крепления к болтам хомута 1 и башмака 4 токосъемной головки.

В сухую погоду используют углеродистые контактные вставки, в дождливую — алюминиевые, так как углеродистые при воздействии влаги быстро изнашиваются. Разработана технология изготовления универсальных металлокерамических вставок типа КТ-1, срок службы которых более чем в 30 раз превосходит углеродистые. При этом износ контактных проводов как сталеалюминиевых, так и более мягких медных не увеличивается. Металлокерамические вставки обеспечивают хорошее качество токосъема и допустимый уровень радиопомех.

Токоприемники крепятся к металлическому постаменту на крыше троллейбуса и изолированы от него фарфоровыми изоляторами (см. рис. 21). Под постамент устанавливают прокладки из резины, смягчающие толчки и вибрации, возникающие при движении троллейбуса.

Токоприемники 5РВ крепятся к постаменту на четырех сайлентблоках (изоляторах), которые служат одновременно и

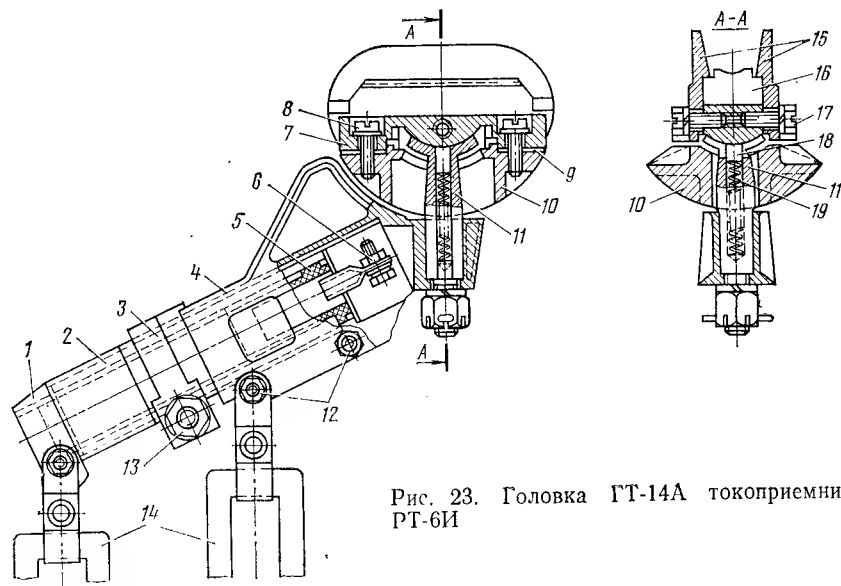


Рис. 23. Головка ГТ-14А токоприемника РТ-6И

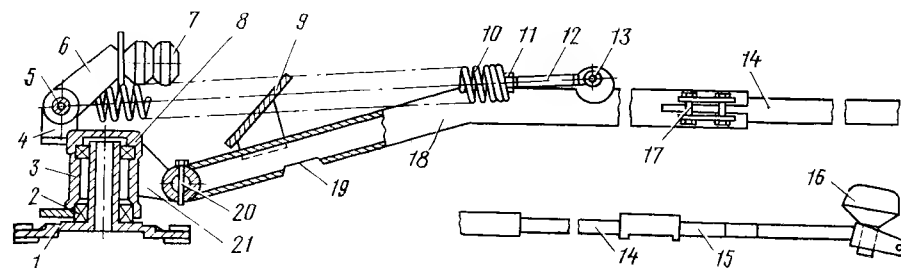


Рис. 24. Токоприемник 5РВ

амортизаторами. На штыре опоры 1 (рис. 24) на двух подшипниках 2 (роликовом и шариковом) установлен корпус 3 основания. К корпусу приварены две цапфы 4 и 21. К нижней цапфе 21 шарнирно крепится штангодержатель 18, в разрезной части которого двумя стяжными болтами 17 зажата штанга 14. На конце штанги укреплен токосъемная головка 16, изолированная от штанги трубкой 15. К штангодержателю сверху приварен упор 9 буферного устройства. На верхней цапфе 4, укрепленной на крышке 8, имеется держатель 6 амортизатора 7, который выполнен из поллой резиновой пружины, и валик 5. На валик надевают концы пружин 10. Вторые концы пружин посредством винтовых пробок 11 и регулировочных тяг 12 крепят к валику 13 на приливе штангодержателя. При соскакивании токосъемной головки с контактного провода штанга под действием пружин 10 резко поднимается вверх и, ударяясь упором 9 о резиновую пружину 7, отбрасывается вниз. Резиновая пружина смягчает удар.

Токосъемная головка шарнирно закреплена в вилке 10 (рис. 25), установленной на конце штанги 1, предварительно изолированной стеклянной лентой с последующей пропиткой эпоксидной смолой. С помощью люльки 5 и линзы 8 головка может свободно поворачиваться на шаровой цапфе 3, с которой соединяется болтом 2. Графитовая вставка 6 удерживается в люльке двумя боковинами (щечками) 4, которые стягиваются болтами 7. Рабочее положение башмака 9 в вилке фиксируется защелкой. При ударе токосъемной головки о спецчасть контактной сети защелка выскакивает из своего гнезда и токосъемная головка под действием пружины опрокидывается. Усилие, необходимое для опрокидывания головки, регулируется изменением натяжения пружины с помощью регулировочного винта 11.

При движении троллейбуса пружины 10 (см. рис. 24) обеспечивают надежный контакт между контактной вставкой токосъемной головки и контактным проводом. Нажатие токосъемной головки на контактный провод должно быть в пределах 80—90 Н. Регулируют натяжение пружин 10 регулировочными тягами 12.

Технические характеристики штанговых токоприемников даны в табл. 4.

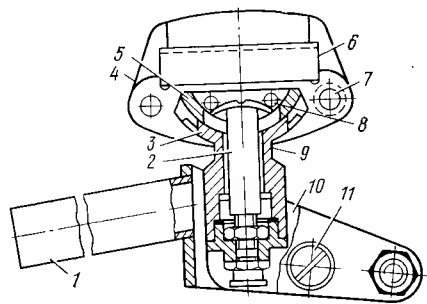


Рис. 25. Контактная головка токоприемника 5PB

Обслуживание токоприемников. Точкоприемники необходимо осматривать ежедневно перед выпуском подвижного состава на линию. Следует проверять состояние и надежность крепления основания, изоляторов, шунтов, отсутствие механических заеданий в шарнирных соединениях. Алюминиевые вставки пантографных и дугового токоприемников не должны иметь оплавлений, поджогов и местной выработки более 4 мм на поверхности. Допустимая толщина алюминие-

вой вставки должна быть не менее 16 мм, а при двойной вставке — не менее 12 мм. Периодически необходимо добавлять смазку в токоприемники и зашлифовывать вставки. Переход от контактной вставки к башмакам каретки должен быть плавным, зазор между вставкой и башмаком допускается не более 2 мм.

Следует периодически проверять нажатие токосъемной головки на контактный провод, которое должно быть в пределах нормы. Не допускаются к эксплуатации потертые, с оборванными прядями, грязные канаты. Необходимо проверять исправность фиксирующего устройства пантографных и дугового токоприемников, при необходимости отрегулировать его.

Токосъемная головка штангового токоприемника должна свободно, без заеданий вращаться на пяте. Зазор между подвижными деталями токосъемной головки и неподвижным обтекателем не должен превышать 4 мм. Не допускаются на обтекателе следы трения о контактный провод.

ГЛАВА III

РЕОСТАТЫ И РЕЗИСТОРЫ

10. ПУСКОТормозные РЕОСТАТЫ

Резисторы и реостаты предназначены для ограничения тока в электрических цепях. В зависимости от назначения различают пусковые, тормозные и регулировочные реостаты, демпферные, добавочные, разрядные и другие резисторы.

Пусковые реостаты служат для уменьшения пускового тока тяговых двигателей и выводятся из силовой цепи двигателя по мере увеличения частоты вращения якоря двигателя.

Тормозные реостаты предназначены для поглощения электрической энергии, вырабатываемой двигателем, работающим в режиме генератора при электрическом торможении.

Пускотормозные реостаты выполняют из комплектов элементов типа КФ, которые имеют различную конструкцию и классифицируют по мощности. Элемент КФ (рис. 26) состоит из фехральной ленты 3, намотанной в виде спирали на ребро с внутренним диаметром 70 мм и уложенной в направляющие канавки двух керамических изоляторов 4, закрепленных на плоском металлическом держателе 2. Фехраль (сплав железа, хрома и алюминия) обладает высоким удельным сопротивлением, жаростойкостью и механической прочностью. Обычно применяют фехраль марки Х13104 с удельным сопротивлением $1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ с температурным коэффициентом $0,00015^\circ\text{C}$. К концам спирали припаивают латунью плоские выводы 1 и 5, с помощью которых элементы соединяются между собой. Иногда на элементах делают промежуточные выводы. В пределах одной длины элементы рассеивают одинаковую выделяющуюся в них мощность и различаются значениями сопротивлений (сечением фехральной ленты, числом намотанных витков и параллельных лент) и длительным током.

Мощность элементов и длительные токи их даны при превышении температуры 350°C . По условиям пожарной безопасности наибольшие расчетные перегревы не допускают выше 450°C . Элементы пускотормозных реостатов монтируют в ящиках, которые обычно подвешивают на изоляторах под кузовом подвижного состава, реже их устанавливают на крыше (троллейбус 9Тр). К стойкам 1 ящика тормозного реостата типа КФ-51Г-3 (рис. 27, а) закреплены шпильки 5, изолированные миканитом. На шпильках установлены элементы 4, изолированные друг от друга и от держателей элементов фарфоровыми изоляторами 3. Расстояние между двумя соседними элементами на шпильке фиксируется дистанционными

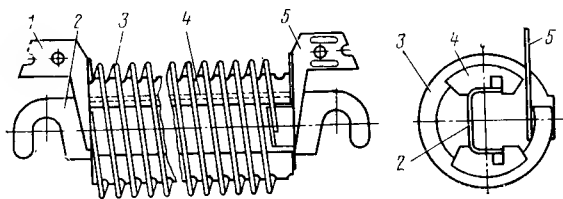


Рис. 26. Резистор КФ

втулками 7. Элементы в ящике реостата соединены между собой шинами 2 согласно монтажной схеме (рис. 27, б). Концы выводных шин и наконечники подводящих кабелей силовой проводки закреплены на доске зажимов (клеммовой доске) болтами. Ящик пускотормозного реостата подвешивают к основанию кузова на фарфоровых изоляторах 6. Над ящиком прокладывают слой асбеста, закрытый листовой сталью, чтобы предохранить пол салона от высокой температуры. Пускотормозные реостаты закрывают кожухом и охлаждают воздухом, прогоняемым с помощью вентилятора, который служит также для вентиляции пассажирского салона. В зимнее время подогретый в ящике реостата воздух возвращается в салон и используется для его обогрева, в летнее — выбрасывается в атмосферу.

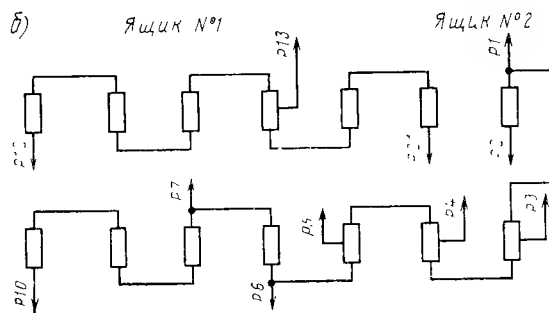
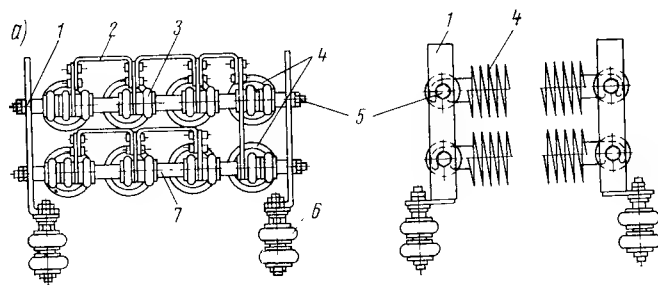


Рис. 27. Общий вид пускотормозного реостата КФ-51Г-3 (а) и его монтажная схема (б)

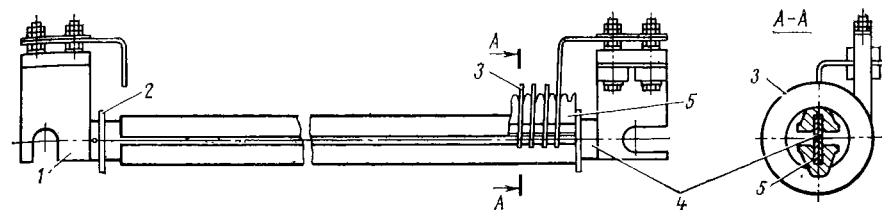


Рис. 28. Элемент демпферного резистора

На троллейбусе 9Тр применяют пускотормозной реостат Р8РТб, предназначенный для работы в цепи с номинальным напряжением 600 В и наибольшим допустимым кратковременным током 400 А. Элементы реостата Р8РТб смонтированы в двух блоках (рамах), которые устанавливают на крыше троллейбуса на изоляторах из микалекса и закрывают съемными кожухами. Элемент реостата выполнен в форме овальных катушек из фехральной ленты и посредством стеатитового седла и стального держателя крепится к раме. Сопротивление всего реостата 3,87 Ом. Выводы ступеней реостата выполнены медными шинами, укрепленными на изоляторах.

На первой раме установлен демпферный резистор сопротивлением 15 Ом, включенный в цепь двигателя компрессора. Охлаждается реостат потоком воздуха при движении троллейбуса.

На трамвайном вагоне Т-3 в качестве пускотормозных реостатов используют ленточные элементы ускорителя и демпферные резисторы R1 и R2 (см. рис. 88), ограничивающие пусковой ток тяговых двигателей и обеспечивающие плавный пуск вагона. Резисторы R1 и R2 и резисторы автоматической стрелки RV смонтированы на одной раме, которую устанавливают в шкафу ускорителя и с помощью кронштейнов подвешивают к кузову вагона на фарфоровых изоляторах.

Резистор (рис. 28) состоит из ленты 3, выполненной из сплава кантал ДСД и уложенной в канавки керамических изоляторов 5. Изоляторы укреплены на держателе 4 и фиксируются на нем двумя шайбами 2, приваренными к держателю точечной сваркой. Наконечники 1 служат для крепления и соединения резисторов.

В цепях вспомогательных высоковольтных двигателей в качестве демпферных резисторов применяют элементы типа СР.

11. РЕГУЛИРОВОЧНЫЕ РЕОСТАТЫ И ИНДУКТИВНЫЕ ШУНТЫ

Регулировочные реостаты предназначены для регулирования магнитного потока независимой (параллельной) обмотки возбуждения тяговых электродвигателей. Ток в параллельных цепях тягового двигателя и в цепях вспомогательных электрических машин

обычно не превышает 10 А. Для этих цепей применяют проволочатые трубчатые резисторы СР и регулировочные реостаты, выполненные из резисторов СР. Трубчатый резистор СР состоит из фарфорового цилиндра 1 (рис. 29), на наружной поверхности которого имеются канавки, расположенные по винтовой линии. В канавки укладывают фехралевую проволоку 3. Канавки препятствуют сдвиганию проволоки. Начало и конец проволоки припаивают к твердым припоем к выводам, имеющим винты 2 для присоединения внешних проводов. Резисторы СР могут иметь промежуточные выводы 4, выполненные в виде хомута, закрепленного таким образом, сопротивление последнего. К фарфоровому цилиндру образцом сопротивление последнего. К фарфоровому цилиндру сквозной шпилькой и гайками прикреплены два стальных оцинкованных держателя для установки элемента на панели. Трубчатые резисторы обычно устанавливают вертикально, чтобы уменьшить действие на них тряски и толчков. Соединяют резисторы друг с другом и с выводным зажимами на рейке медным проводом, изолированным фарфоровыми бусами.

Ящик с регулировочным реостатом подвешивают на фарфоровых изоляторах под кузовом подвижного состава и закрывают кожухом.

Демпферные резисторы предназначены для ограничения пускового тока электродвигателей вспомогательных высоковольтных цепей. В качестве демпферных резисторов применяют элементы СР.

Добавочные резисторы ПЭ-50 длиной 90 мм и мощностью 50 Вт и ПЭ-75 длиной 160 мм и мощностью 75 Вт обычно используют для цепей управления и сигнализации. Резистор ПЭ-75 диаметром 25 мм состоит из керамической трубки 1 (рис. 30), на которую намотана нихромовая проволока с достаточными зазорами между витками. После намотки трубку покрывают стекловидной эмалью при высокой температуре. Эмаль фиксирует витки и изолирует их друг от друга и от соприкосновения с воздухом. По концам к трубке с помощью двух фарфоровых изоляторов 3 и сквозной шпильки 5 с гайками 4 крепят два стальных оцинкованных держателя 2, к которым подсоединяют выводы 6 из гибкого медного провода сечением 1—1,5 мм². Выводы припаивают к держате-

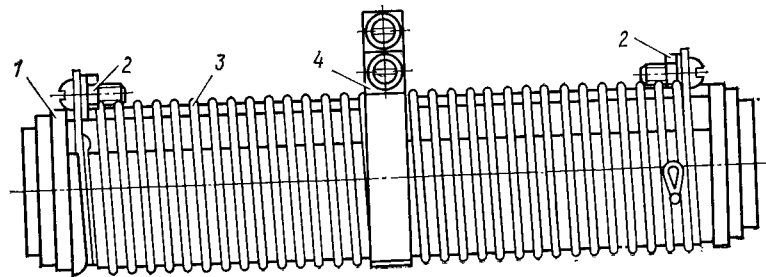


Рис. 29. Резистор СР

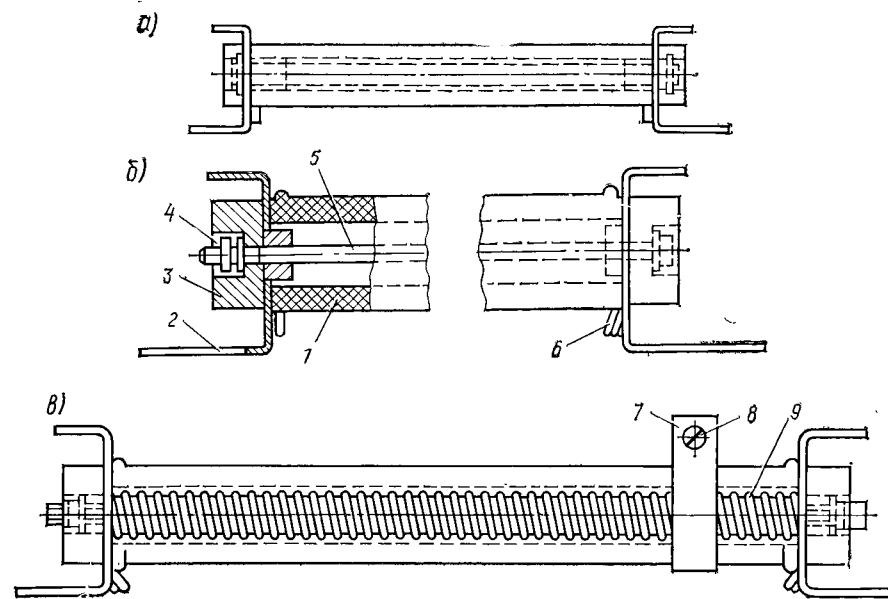


Рис. 30. Резистор ПЭ-75:

а — общий вид; б — нерегулируемый резистор; в — регулируемый резистор

лям латунным припоем. Держатели используют для крепления резистора к панели, а также для присоединения внешних проводов. Резисторы типа ПЭ выпускают нерегулируемые (рис. 30, а, б) и регулируемые (рис. 30, в). Регулируемый резистор имеет на поверхности трубки не покрытую эмалью дорожку константановой проволоки 9. По ней можно перемещать хомутик 7 после ослабле-

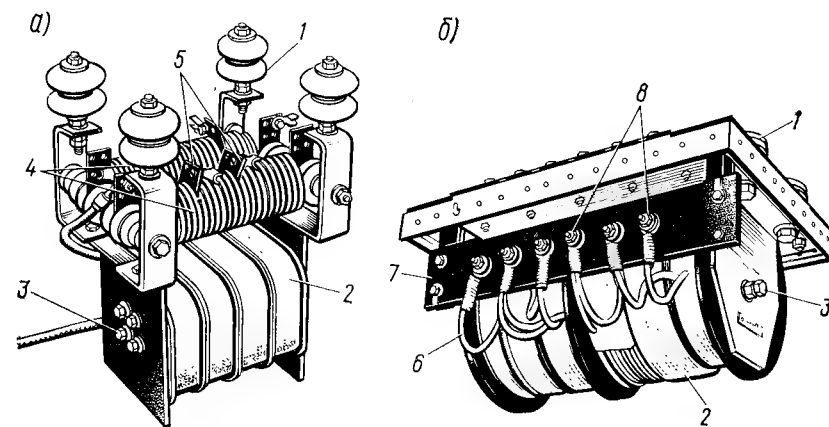


Рис. 31. Индуктивные шунты вагонов КТМ-5М-3 и ЛМ-68М (а), Т-3 (б): 1 — фарфоровый изолятор; 2 — катушки; 3 — сердечник; 4 — резисторы КФ; 5 — промежуточные выводы резистора; 6 — провода; 7 — рейка; 8 — выводы

КОММУТАЦИОННЫЕ АППАРАТЫ С ИНДИВИДУАЛЬНЫМ И ГРУППОВЫМ ПРИВОДОМ

ния винта 8, регулируют таким образом сопротивление резистора. На внутренней стороне хомутка имеется серебряный контакт, обеспечивающий токосъем с витков резистора. Винт 8 служит для подсоединения внешнего провода.

Индуктивные шунты применяют в цепях, шунтирующих последовательную обмотку возбуждения, для ослабления поля тяговых двигателей. Они должны обладать большой индуктивностью, поэтому их выполняют с сердечником. На рис. 31 показан общий вид индуктивных шунтов, применяемых на трамвайных вагонах КТМ-5МЗ и ЛМ-68 (тип — ИШ-14А-1) и вагонах Т-3.

Индуктивный шунт ИШ-14А-1 (рис. 31, а) состоит из четырех катушек 2 соединенных по две последовательно в две параллельные цепи, причем в каждую цепь катушек введен один резистор 4. Резисторы имеют по два промежуточных вывода 5. В каждую группу тяговых двигателей включена одна из цепей индуктивного шунта.

Индуктивный шунт вагона Т-3 имеет на сердечнике 3 шесть катушек 2, из них четыре катушки, выполненные медным проводом прямоугольного сечения ($2,5 \times 3,5$ мм) со стеклоизоляцией или алюминиевой лентой, имеют по 143 витка и две катушки из медного провода по 94 витка в каждой. На сердечнике катушки устанавливают с воздушным зазором в 15 мм, обеспечивающим достаточное естественное охлаждение обмоток. Концы обмоток 6 выведены на болтовые зажимы 8 (рис. 31, б). На рис. 31 позиции: 1 — фарфоровые изоляторы; 7 — изоляционная рейка. Индуктивный шунт выполнен на номинальное напряжение 600 В. Масса шунта с алюминиевой обмоткой 40 кг, с медной обмоткой 56,6 кг.

На троллейбусе ЗиУ-9 для ослабления магнитного поля последовательной обмотки возбуждения тягового двигателя применяют регулировочный реостат типа КФ-62А, включенный последовательно с токовой катушкой реле напряжения, используемой в качестве катушки индуктивности.

12. КОНТАКТНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, КОНТАКТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Контактами называются детали аппаратов, предназначенные для непосредственного замыкания и размыкания электрических цепей и обеспечивающие в замкнутом состоянии необходимую проводимость тока.

Контактные соединения должны удовлетворять следующим требованиям: надежность электрического соединения, достаточная механическая прочность, превышение температуры не выше допустимого по нормам, стойкость против химических воздействий. В зависимости от условий работы контактные соединения подразделяют на неподвижные, подвижные и скользящие.

Неподвижные контактные соединения не размыкаются в процессе эксплуатации аппаратов. К ним относятся все типы постоянных соединений проводников. Выполняются они шпильками, винтами, болтами, заклепками, специальными зажимами или пайкой и сваркой.

Подвижные контактные соединения, замыкающиеся и размыкающиеся в процессе работы аппарата, являются основными элементами выключающей аппаратуры (контакторов, реле, автоматических выключателей, рубильников и пр.). Они состоят из двух контактов, один из которых является неподвижным, а другой, перемещаясь, осуществляет включение или выключение электрической цепи. Необходимое усилие прижатия контактов друг к другу достигается с помощью контактных пружин.

Скользящие контактные соединения обеспечивают перемещение одной контактной поверхности по другой и не размыкаются в процессе работы. Их прижатие друг к другу осуществляется посредством пружин. К скользящим контактным соединениям относятся коллектор и щетки, токосъемная вставка токоприемника, контактный провод и др.

В месте касания двух контактов возникает добавочное сопротивление, которое называется *переходным или контактным сопротивлением*. Проводимость контактов тем больше, чем меньше их сопротивление. Сопротивление контактного соединения складывается из сопротивления материала контактов и переходного сопро-

тивления. Причем переходное сопротивление составляет наиболее существенную часть общего. Это объясняется тем, что контактные поверхности имеют некоторую шероховатость, вследствие чего замкнутые контакты соприкасаются лишь отдельными точками своих поверхностей. Чем тщательнее обработаны поверхности контактов и чем больше усилие прижатия контактов друг к другу, тем многочисленнее будут точки соприкосновения их поверхностей и, следовательно, тем меньше переходное сопротивление, местные увеличения плотности тока, падение напряжения и потеря мощности.

Значительное влияние на переходное сопротивление имеет окисление поверхности контактов. Окислению в различной степени подвергаются все металлы, применяемые для изготовления контактов. Их расположение в порядке возрастающей стойкости к окислению следующее: медь—медь; медь—латунь; медь—сталь; медь—алюминий; латунь—сталь; сталь—сталь; латунь—латунь; алюминий—сталь; алюминий—латунь; алюминий—алюминий; ПОС-30—ПОС-30; олово—олово; кадмий—кадмий; серебро—серебро. Контактное сопротивление окисленных поверхностей может в несколько сотен и тысяч раз превышать сопротивление неокисленных поверхностей. Контакты электрических аппаратов рассчитаны на работу в определенных температурных условиях. Нагревание контактов зависит от тока, сопротивления контактов и переходного сопротивления. Повышенный нагрев контактов ускоряет процесс окисления поверхности контактов, а следовательно, значительно увеличивает переходное сопротивление:

Материал контактов	Медь — медь	Алюминий — алюминий	Сталь — сталь
Время окисления при 70° С, дни	36	54	57,5
Степень увеличения сопротивления	15 000	70	900

Контакты тяговых аппаратов изготавливают из меди, серебра и металлокерамических материалов. Самым распространенным и наиболее дешевым контактным материалом является медь, которая обладает достаточной твердостью и высокой электрической проводимостью. К недостаткам медных контактов следует отнести быстрое образование на их поверхности окисных пленок, плохо проводящих электрический ток, поэтому в эксплуатации медные контакты требуют регулярной зачистки поверхностей соприкосновения. В аппаратах обычно предусматривается возможность удаления окислов с поверхности контактов. Замыкание и размыкание контактов сопровождаются относительным скольжением их поверхностей (притиранием), при котором разрушается пленка поверхностного окисления, в результате чего происходит зачистка контактов и уменьшается их сопротивление. Износоустойчивость контактов из кадмиевой меди примерно в 1,5 раза выше по сравнению с медными.

Серебряные контакты имеют сравнительно низкую электрическую износоустойчивость, причем быстрее изнашивается положительный контакт и больше изнашиваются серебряные контакты при включении, чем при отключении.

Металлокерамические контакты обладают высокой твердостью, хорошей электрической и механической износоустойчивостью. Их используют в аппаратах, рассчитанных на средние и большие токи. Для получения контактов с хорошими показателями применяют смесь металла с высокой проводимостью, но имеющего низкую температуру плавления, и тугоплавкого металла. Порошки двух практически несплавливающихся металлов тщательно перемешивают, прессуют в пресс-форме по заданному профилю контакта и затем запекают при 800—900° С, или порошок, изготовленный из тугоплавкого металла пропитывают расплавленным другим металлом. Таким образом, металлокерамический контакт имеет тугоплавкий скелет и легкоплавкий наполнитель с высокой проводимостью. Применяют металлокерамические контакты в сочетании: серебро—окись кадмия; серебро—никель; серебро—вольфрам; серебро—молибден; медь—вольфрам; медь—молибден.

Неподвижные контакты, выполненные из легкоокисляющихся металлов (сталь, алюминий, медь) и не подвергающиеся во время работы механическому износу и воздействию электрической дуги, покрывают защитными малоокисляющимися материалами, например, оловом, кадмием, серебром, ПОС-30 (оловянисто-свинцовый припой, содержащий 30% олова). Надежность работы аппарата зависит от размера раствора, контактного нажатия, провала и притирания контактов.

Раствор контактов — это расстояние между контактными поверхностями подвижного и неподвижного контактов в разомкнутом положении. Размер раствора выбирают из условий гашения электрической дуги.

Контактное нажатие — это сила, с которой подвижной контакт должен давить на неподвижный, чтобы обеспечить нормальную работу аппарата. Под **провалом** понимают расстояние, на которое смещается подвижной контакт при полном замыкании контактов. По мере износа контактов провал и контактное нажатие уменьшаются. **Притирание** — это перемещение линии касания подвижного контакта по поверхности неподвижного контакта.

13. СПОСОБЫ ГАШЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

При разрыве электрической цепи, находящейся под током, между контактами возникает дуговой разряд, представляющий собой поток заряженных частиц — электронов и ионов, перемещающихся с большой скоростью между контактами. Высокая температура дуги (около 10 000° С в стволе дуги и до 2000—3000° С на ее поверхности) может привести к плавлению металлов и разруше-

нию контактов, а ионизация окружающей среды — к пробое и перекрытию изоляции. Поэтому необходимо быстро прервать ток, который после размыкания контактов идет в цепи через электрическую дугу.

В тяговых аппаратах применяют следующие способы гашения дуги: механическое, роговое и электромагнитное.

Механическое гашение электрической дуги осуществляется удлинением ее посредством увеличения расстояния между контактами. Этот способ нашел применение в аппаратах с ручным приводом, например в выключателях управления, контроллерах управления, а также реле и др. Недостатком этого способа является малая скорость гашения дуги, большая длина дуги, повышенное подгорание и оплавление контактов.

Роговое гашение электрической дуги происходит при ее удлинении под действием силы воздушной тяги, появляющейся в результате поднимания нагретого дугой воздуха вверх и электродинамических усилий между элементами дуги и рогами, направленных также снизу вверх. Под действием этих сил электрическая дуга быстро перемещается кверху, увеличиваясь по длине, и разрывается. Роговое гашение электрической дуги используют в роговых разрядниках и в дугогасящих устройствах тяговой электроаппаратуры.

Электромагнитное гашение дуги вызывается взаимодействием магнитного потока, создаваемого специальной дугогасительной катушкой, и тока электрической дуги.

При конструировании дугогасительных устройств обычно одновременно принимают несколько способов гашения дуги. Дугогасительное устройство контактора с электромагнитным (основным) и роговым (вспомогательным) гашением (рис. 32) состоит из катушки 5, камеры 1 с полюсными наконечниками 2 и рогов 3 и 6. Дугогасительную катушку выполняют из шинной меди, намотанной на ребро, и укрепляют ее на сердечнике 4. В аппаратах, осуществляющих коммутацию цепей со сравнительно небольшим током, катушку наматывают из изолированного медного провода круглого сечения. Дугогасительную катушку устанавливают непосредственно за верхним дугогасительным рогом и включают последовательно с контактами. Дугогасительную камеру выполняют из асбоцементных листов, пропитанных льняным маслом для улучшения изоляционных свойств, или из специальной дугостойкой керамики. Камеру закрепляют в полюсных наконечниках из листовой стали. Полюсные наконечники, соединяясь с сердечником дугогасительной катушки, образуют магнитопровод, благодаря которому сокращается рассеивание магнитного поля и магнитные потоки сосредотачиваются в дугогасящем пространстве камеры.

В электрической цепи аппарата ток идет в следующем направлении: от провода I, через дугогасительную катушку, неподвижный 7 и подвижный 8 контакты к проводу II. При данном направлении тока в дугогасительной катушке (против часовой стрелки) направление магнитного поля внутри камеры указано стрелкой

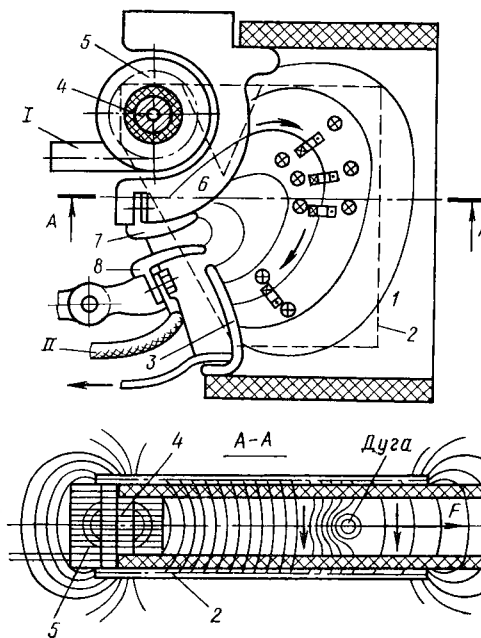


Рис. 33. Расчетная схема катушки электромагнита

Рис. 32. Схема электромагнитного дугогасительного устройства

(см. рис. 32). Одновременно вокруг дуги образуется магнитное поле, направленное против часовой стрелки. Магнитное поле дуги, взаимодействуя с магнитным полем дугогасительной катушки, создает силу F , заставляющую дугу перемещаться внутрь камеры. Направление силы F определяется по правилу левой руки. Дуга, перемещаясь по рогам внутрь дугогасительной камеры, все более удлиняется, охлаждается о стенки камеры, сопротивление ее резко возрастает и дуга гаснет.

Изменение направления тока в электрической цепи приводит к изменению направления линий магнитной индукции вокруг электрической дуги. Одновременно изменяется направление тока в дугогасительной катушке, последовательно соединенной с цепью, а это вызывает изменение направления магнитных линий поля гашения. Таким образом, направление выдувания электрической дуги остается прежним — внутрь камеры.

Сила взаимодействия между магнитным потоком дугогасящего устройства при однородном поле гашения, перпендикулярно направленном к электрической дуге (при $\alpha = 90^\circ$),

$$F = B l_d I, \quad (12)$$

где l_d — длина дуги, см;
 B — магнитная индукция, Тл;
 I — отключаемый ток, А.

В соответствии с законом Ома для магнитной цепи

$$Bs = \Phi = I\omega/R_\mu, \quad (13)$$

если пренебречь магнитным сопротивлением стали и учитывать только расстояние между полюсами, сопротивление

$$R_\mu = \delta/(\mu_0 s), \quad (14)$$

где $I\omega$ — намагничивающая сила катушки дугогашения, А, создающая магнитный поток Φ в пространстве гашения электрической дуги;

δ — расстояние между полюсами магнитной системы, см;

s — площадь поперечного сечения поля гашения, см²;

$\mu_0 = 0,4\pi 10^{-8}$ — магнитная проницаемость воздуха, Гн/см.

Подставляя данные в уравнение (12), получим

$$F = I^2 \omega \mu_0 l_d / \delta. \quad (15)$$

Из уравнения (15) следует, что сила, действующая на дугу, пропорциональна квадрату отключаемого тока. Поэтому при последовательном включении дугогасительной катушки с контактами аппарата увеличение тока в электрической цепи повысит эффективность гашения дуги при выключении дуги.

14. РАСЧЕТ ОБМОТОК ЭЛЕКТРОМАГНИТА

Катушки приводов электромагнитных аппаратов обычно выполняют из медной эмалированной проволоки. Их рассчитывают исходя из следующих данных: напряжения источника питания в пределах его изменения $U_{\min}$ и $U_{\max}$; размеров катушки D , d , h , b (рис. 33), минимально необходимой намагничивающей силы $i\omega_{\min}$ при $U_{\min}$ и предельном нагревании обмотки.

Размеры катушек и намагничивающую силу $i\omega_{\min}$ устанавливают на основании предварительных расчетов и эскизного проектирования. Перед расчетом катушки необходимо выбрать конструкцию каркаса, толщину изоляции и определить основные размеры h и b . Внешний диаметр D катушки определяет обмоточное пространство, охлаждающую поверхность и зависит от допускаемого превышения температуры. Внешний диаметр катушки $D \leq 3d$.

В процессе расчета определяют сечение обмоточного пространства q , число витков катушки ω , наименьший потребляемый ток $I_{\min}$, сопротивление катушки в нагретом состоянии (при 80°С). Предельное нагревание обмотки катушек вызывает изменение сопротивления до 13% по сравнению с отключенным состоянием. Катушку рассчитывают также на нагрев. Сечение провода (меди)

$$U_{\min} = I_{\min} R = I_{\min} \rho l_{\text{ср}} \omega / q, \quad (16)$$

где ρ — удельное сопротивление материала обмоточного провода в нагретом состоянии, Ом·м;

$l_{\text{ср}}$ — длина среднего витка, м, $l_{\text{ср}} = 0,5\pi (D + d)$;

ω — число витков катушки;

q — сечение меди, см².

Принимая, что $\omega I_{\min} = i\omega_{\min}$, получим

$$U_{\min} = i\omega_{\min} \rho l_{\text{ср}} / q, \quad (17)$$

тогда сечение меди

$$q = i\omega_{\min} \rho l_{\text{ср}} \cdot U_{\min}.$$

Число витков катушки

$$\omega = \frac{hb}{q} \alpha', \quad (18)$$

где h — высота сечения обмоточного пространства, см;

b — ширина сечения обмоточного пространства, см;

α' — коэффициент заполнения обмоточного пространства.

Коэффициентом заполнения α' называется отношение общего сечения меди в обмоточном пространстве к полному его сечению hb . В зависимости от формы сечения провода, его диаметра, способа укладки и рода изоляции значение коэффициента заполнения может быть в пределах 0,5—0,85. Чем больше диаметр провода, тем больше коэффициент заполнения, и наоборот.

Наименьший ток катушки

$$I_{\min} = i\omega_{\min} / \omega. \quad (19)$$

Сопротивление катушки в нагретом состоянии (при 80°С)

$$R = U_{\min} / I. \quad (20)$$

Для расчета катушки на нагрев определяют наибольшие возможные потери N (в ваттах) в меди катушки при $U_{\max}$ и длительном режиме (в нагретом состоянии):

$$N = I_{\max}^2 R; \quad (21)$$

$$N = \left(\frac{U_{\max}}{R} \right)^2 R = \frac{U_{\max}^2}{R}.$$

Подставляя в это выражение значение сопротивления из уравнения (16), получим

$$N = \frac{U_{\max}^2 q}{\rho l_{\text{ср}} \omega}. \quad (22)$$

Подставляя число витков ω из формулы (18) в полученное выражение (22), окончательно найдем

$$N = \frac{U_{\max}^2 q^2}{\rho l_{\text{ср}} hb \alpha'}. \quad (23)$$

Потери в меди отдаются катушкой в виде тепла в окружающую среду, поэтому для упрощенного расчета можно пользоваться формулой

$$N = \alpha \tau F, \quad (24)$$

тогда превышение над температурой окружающей среды

$$\tau = N / (\alpha F), \quad (25)$$

где α — коэффициент теплоотдачи поверхности катушки, Вт/(м²·К);

F — поверхность охлаждения катушки, см².

Для катушек контакторов и других тяговых аппаратов диаметром 60—140 мм при ширине сечения обмоточного пространства $b = 20 \div 45$ мм принимают коэффициент теплоотдачи $\alpha = (10 \div 15)$ Вт/(м²·К).

Внутренняя и наружная поверхности катушки отдают тепло не одинаково, а в зависимости от теплового контакта с сердечником. В этом случае формула (25) будет иметь вид

$$N = \alpha (F_{\text{нар}} + \beta F_{\text{вн}}) \tau, \quad (26)$$

где $F_{\text{нар}}$ — наружная поверхность катушки, см²;

$F_{\text{вн}}$ — внутренняя поверхность катушки, см²;

β — коэффициент, характеризующий теплоотдачу внутренней поверхностью: для бескаркасных бандажированных катушек $\beta = 0,9$; для катушек с металлическим каркасом $\beta = 1,7$; для катушек, намотанных непосредственно на сердечник, $\beta = 2,4$.

Торцовые поверхности катушек очень мало отдают тепло, поэтому в расчетах их теплоотдачей можно пренебречь.

Из формулы (26) имеем

$$\tau = \frac{N}{\alpha (F_{\text{нар}} + \beta F_{\text{вн}})}. \quad (27)$$

Если полученное расчетом превышение температуры выше нормы, то размеры катушки изменяют, а расчет повторяют.

Для расчета последовательно включенной катушки, выполняемой из шинной меди, принимают $(d_{\text{вн}}/h) \geq 2 \div 2,5$. Здесь $d_{\text{вн}}$ — внутренний диаметр катушки, намотанной на ребро; h — высота обмоточной шины.

При заданных значениях намагничивающей силы и тока для длительного режима число витков катушки

$$\omega = i \omega / I. \quad (28)$$

Зная значение тока в последовательной цепи и допустимую его плотность, можно определить сечение обмоточной шины

$$q = I / \Delta i, \quad (29)$$

где I — ток катушки, т. е. ток в последовательной цепи;

Δi — допустимая плотность тока; для длительного режима

$\Delta i = 2 \div 4$ А/мм²; для повторно-кратковременного режима $\Delta i = 5 \div 12$ А/мм²; для кратковременного режима $\Delta i = 13 \div 30$ А/мм².

Выполняя тепловой расчет последовательно включенных катушек, коэффициент теплоотдачи принимают несколько более высоким, чем для параллельных катушек: $\alpha = (15 \div 25)$ Вт/(м²·К).

15. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОНТАКТОРЫ

Электрические аппараты, предназначенные для коммутаций электрических цепей под нагрузкой, называются контакторами. Контактторы, применяемые на трамвайных вагонах и троллейбусах, снабжены электромагнитным приводом и поэтому их называют электромагнитными. Они осуществляют включения и выключения электрических цепей с большим диапазоном нагрузок — от 5 до 350 А.

На современных троллейбусах и трамвайных вагонах отечественного производства используют электромагнитные контакторы КПД-110Е, КПД-111, КПД-121, КПД-113, КПД-114, КПП-113, КПП-114, КПДЗ-113; на троллейбусах 9Тр установлены контакторы 29-SM, 28-SM, 27-SM; на трамвайных вагонах Т-3 — контакторы SB-791, SL-11, SA-781, SC-12, SA-261, SA-263, SE-11, SG-11.

Контакторы, применяемые на подвижном составе городского электротранспорта, обычно выполняются замыкающими, их главные контакты разомкнуты при обесточенной втягивающей катушке.

Контактор КПП-114 предназначен для коммутаций силовых цепей тягового электродвигателя, он полностью собирается на панели. Электромагнитный привод контактора (рис. 34) состоит из кронштейна 18 с укрепленным на нем заклепками стальным Г-образным ярмом 9. На ярме болтом 19 укреплен сердечник с втягивающей катушкой 8, которая включена в цепь управления на напряжение 24 В. К ярму подвижно через призматическое сопряжение крепится якорь 23 с противовесом 6. Противовес служит для возвращения якоря в исходное положение. Специальный изолятор 17, установленный на якоре, изолирует металлические детали электропривода от напряжения силовой цепи.

На изоляторе якоря укреплен подвижной контакт 15 с держателем и дугогасительный рог 14. Надежное притирание контактов осуществляется контактной пружиной 16. Главные контакты контактора металлокерамические. Подвижной контакт гибким шунтом 4, изготовленным из многожильного медного провода, соединен с выводом 5. Неподвижный контакт 13 крепится к держателю 11, выполняющему одновременно роль дугогасительного рога.

Дугогасительная система контактора состоит из дугогасительной катушки 10 с сердечником, дугогасительной камеры 12 и полюсных наконечников 2. Неподвижный контакт через дугогасительную катушку соединен с выводом 1. Выводы 1 и 5 предназначены для присоединения внешних проводов.

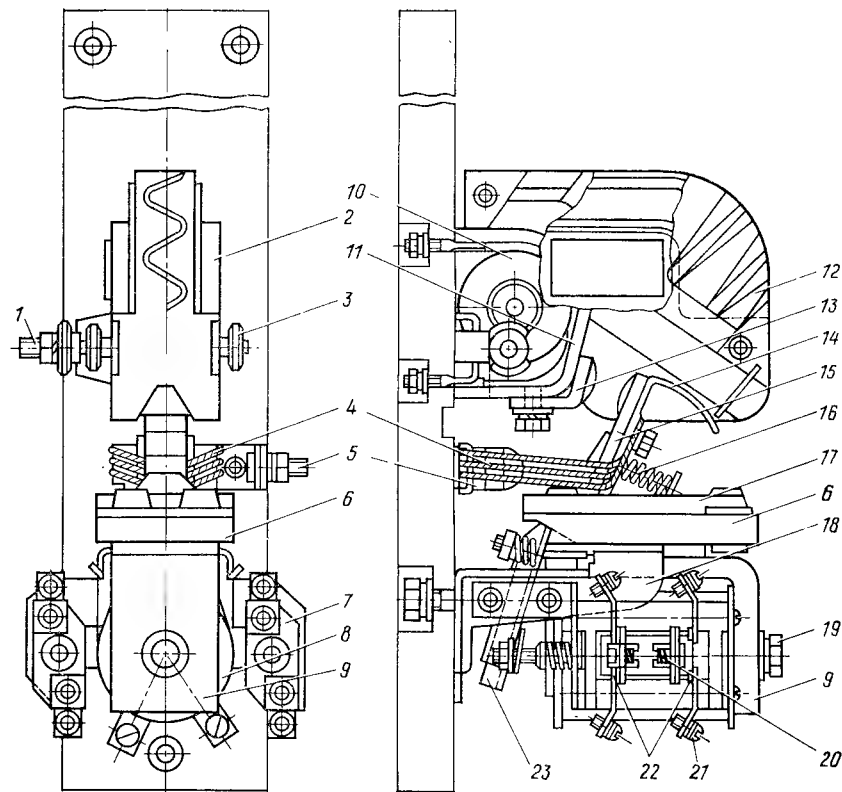


Рис. 34. Контактор КПП-114

В контакторе КПП-114 предусмотрена возможность установки блок-контактов 7 мостикового типа с обеих сторон, т. е. они могут иметь четыре пары блок-контактов. Подвижную часть блок-контактов обычно присоединяют к якору контактора, а неподвижные контакты укрепляют на общей панели.

Блокировочное устройство состоит из пластмассовых стойки, крышки и основания, скрепленных винтами. В стойках установлены держатели неподвижных контактов. Вдоль оси свободно перемещается изоляционная траверса, на которой смонтированы подвижные контакты 22 и контактные пружины 20. На траверсе имеются выключающая пружина и винт, служащий для соединения траверсы с якорем контактора. (На рис. 34 позиции: 3 — винт; 21 — выводы блок-контактов).

При возбуждении втягивающих катушки контактора якорь притягивается к сердечнику, в результате чего подвижный контакт замыкается с неподвижным. Во время замыкания контактов подвижный контакт перекачивается по неподвижному с некоторым

скольжением, т. е. происходит притирание контактов. Оно осуществляется благодаря свободной установке держателя подвижного контакта, овальной форме контактов и наличию контактной пружины.

Выключается (размыкается) контактор под действием силы тяжести противовеса и системы подвижного контакта после прекращения питания втягивающей катушки.

Контактор КPD-114 в отличие от КПП-114 не имеет изоляции металлических деталей электромагнитного привода от подвижного контакта.

Контакторы КПП-113 и КPD-114 по своей конструкции подобны контакторам КПП-114 и КPD-114, но имеют менее мощные магнитную и контактную системы. Они допускают установку блок-контактов только с одной стороны, так как могут иметь две пары блок-контактов.

Контактор КPD3-113 выполнен размыкающим (негативный контактор), его главные контакты замкнуты при обесточенной втягивающей катушке. Дугогасительная система 1 (рис. 35) и блокировочное устройство 5 контактора КPD3-113 аналогичны контактору КPD-113, а электромагнитная система и привод якоря значительно отличаются.

При возбуждении втягивающей катушки 6 якорь 3 притягивается к сердечнику 4, сжимая включающую пружину 8. Контакты 2 размыкаются, разрывая силовую цепь контактора. Бесступенчатое отключение контактора обеспечивает пружина 7, усилие которой направлено против включающей пружины 8.

Контактор КPD-121 в отличие от ранее рассмотренных контакторов выполнен в виде отдельного блока и крепится к панели с помощью болтов. Контактор КPD-121 двухполюсный, т. е. он имеет два контактных устройства, которые обеспечивают одновременное замыкание или размыкание двух электрических цепей (рис. 36).

Роль основного связующего элемента выполняет пластина 6, на которой крепится ярмо 10 с сердечником и втягивающей катушкой 20 и изолятор 8. С двух сторон на якорь 2 укреплены изоляторы 1 со скобами 19, на которых смонтированы держатели подвижных контактов 3. Неподвижный контакт 13 с дугогасительным рогом 9 укреплен на изоляторе 8. При возбуждении катушки

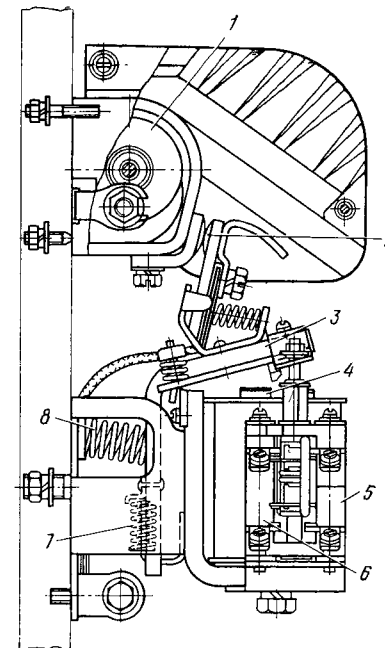


Рис. 35. Контактор КPD3-113

20 якорь, поворачиваясь на призматической опоре, сжимает выключающую пружину 18, заключенную между скобами 16 и 19. и подвижные контакты 3 замыкаются с неподвижными контактами 13. Необходимое притирание контактов достигается с помощью контактных пружин 15. Размыкаются контакты под действием выключающей пружины 18 после прекращения питания втягивающей катушки 20.

Дугогасительное устройство каждой цепи укреплено на изоляторе 8 и состоит из дугогасительной катушки 12 с сердечником, двух полюсных наконечников 4 и дугогасительной камеры 5 с вмонтированным в нее дугогасительным рогом 14. Дугогасительный рог подвижного контакта шунтом 17 соединяется с выводом 11. Неподвижный контакт и его дугогасительный рог через дугогасительную катушку соединяются с выводом 7.

Контактор КПМ-121 имеет конструкцию, подобную контактору КПД-121, но имеет более мощную магнитную и контактную системы.

Контакторы КПД-111 и КПМ-111 отличаются от контакторов КПД-121 и КПМ-121 наличием одной цепи, т. е. они выполнены однополюсными. Принцип их действия и конструкция магнитной системы, включающей катушки, контактного и дугогасительного устройств аналогичны двухполюсным контакторам.

Контактор КПД-110Е используют для замыкания и размыкания цепи параллельного возбуждения тягового электродвигателя и вспомогательных цепей с номинальным током до 25 А. Контактор КПД-110Е конструктивно выполнен аналогично ранее рассмотренным контакторам, но рассчитан на меньшую мощность и в связи с этим имеет меньшие размеры и массу.

Технические данные контакторов отечественного производства приведены в табл. 5.

Контакторы 29-SM, 28-SM, 27-SM конструктивно выполнены одинаковыми и отличаются лишь мощностью контактной системы и наличием блок-контактов. Их конструкция аналогична ранее рассмотренным контакторам. Они имеют блочную конструкцию, все детали контактора смонтированы на текстолитовом основании. Технические данные контактора 29-SM следующие:

Номинальное напряжение	600 В
Ток длительный	200 А
Напряжение на втягивающей катушке	(24±6) В
Сопротивление катушки	22 Ом
Главные контакты:	
раствор	6—7 мм
нажатие конечное	20 Н
Блок-контакты:	
раствор	3,5 мм
нажатие конечное	1,2 Н
Масса	9,2 кг

Контакторы SA-781, SG-11, SA-263, SA-261, SC-12, SC-11, применяемые на трамвайных вагонах Т-3, по своей конструкции ана-

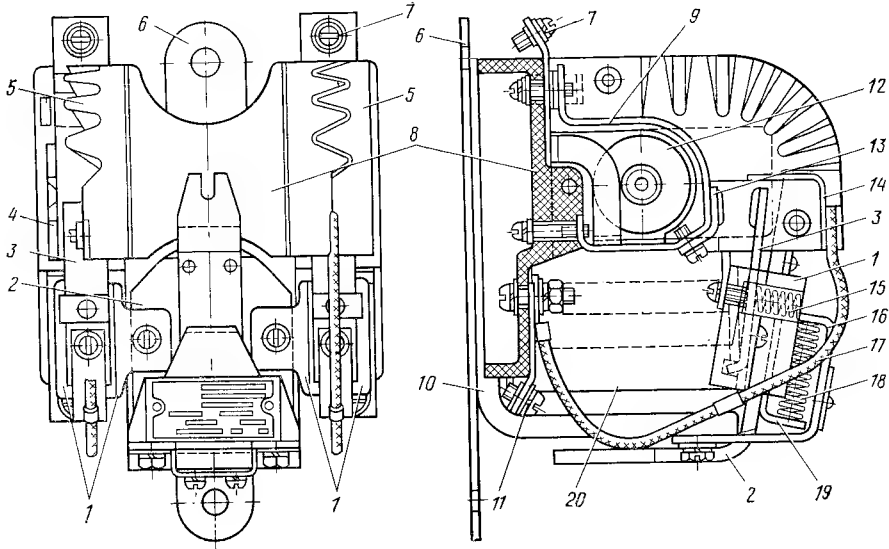


Рис. 36. Контактор КПД-121

логичны ранее рассматриваемым контакторам. Их технические данные и особенности конструкции зависят от параметров цепей, в которые они включены. Контакторы имеют блочную конструкцию.

Таблица 5

Показатель	Значения показателей для контакторов							
	КПД-110, КПД-110Е	КПД-111, КПМ-111	КПД-121, КПМ-121	КПД-113	КПД-113	КПМ-113	КПД-114	КПМ-114
Напряжение номинальное, В	550	550	550	550	600	750	600	750
Ток длительный, А	25	60	60	150	150	150	300	300
Напряжение цепи управления, В	24—50	24	24	24	24—50	24—70	24—50	24—70
Контакты главные:								
раствор, мм	8—11	8	8	12—16	14—18	14—18	16—20	18
провал, мм	4—6	4	4	5—7	5—7	6	6—8	7
конечное нажатие, Н	2,5	7	7	22	22	22	32	32
Блок-контакты:								
раствор, мм	3,5	4	4	4	4	4	4	4
провал, мм	2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
конечное нажатие, Н	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Масса, кг	1,6	4	5	5	5,0	5,2	8,7	8,9

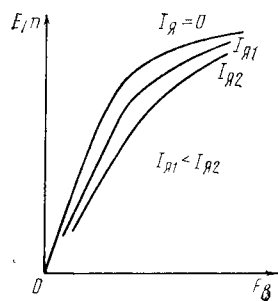


Рис. 69. Нагрузочные характеристики тягового двигателя

В двигателях смешанного возбуждения (рис. 68, б) с преобладающей обмоткой независимого возбуждения, когда $I_{ш}W_{ш} > I_{д}W_{с}$, потери в регулирующем реостате R_p также невелики, так как ток, протекающий через R_p , значительно меньше тока двигателя: $I_{ш} = (3 \div 7) \% \text{ от } I_{д}$.

В двигателях смешанного возбуждения с преобладающей обмоткой последовательного возбуждения, когда $I_{д}W_{с} > I_{ш}W_{ш}$, часто регулируют возбуждение сочетанием выше рассмотренных двух способов (см. рис. 68, а, б). В этом случае после выхода на естественную характеристику полного возбуждения сначала отключают обмотку независимого возбуждения, затем уменьшают ток в

обмотке последовательного возбуждения, шунтируя ее реостатом.

В общем случае возбуждение двигателя характеризуется магнитодвижущей силой (м. д. с.) и для оценки степени возбуждения двигателя вводят понятие коэффициента регулирования (или степени ослабления) возбуждения

$$\alpha = F_{ов} / F_{пв}, \quad (39)$$

где $F_{св}$, $F_{пв}$ — м. д. с. ослабленного и полного возбуждения, зависящие от тока в обмотке возбуждения: $F_{в} = I_{в}W_{с}$ (здесь $W_{с}$ — число витков обмотки возбуждения).

Для построения скоростной характеристики $v(I_{я})$ двигателя последовательного возбуждения при степени ослабления возбуждения α обычно пользуются нагрузочными характеристиками двигателя $E/n(F_{в}, I_{я})$ (рис. 69) и уравнениями:

$$v = \frac{U_{д} - I_{я}(r_{я} + \alpha r_{в})}{c\Phi} = E/c\Phi; \quad (40)$$

$$c\Phi = \frac{5,3\mu}{D_{вк}} E/n, \quad (41)$$

где μ — передаточное число редуктора;

$D_{вк}$ — диаметр ведущего колеса, м;

E — э. д. с. вращения, В;

n — частота вращения, об/мин.

Расчет характеристики $v(I_{я})$ при $\alpha \neq 1$ ведут в такой последовательности. Задаются током $I_{я}$, находят падение напряжения на обмотках двигателя $I_{я}(r_{я} + \alpha r_{в})$, э. д. с. вращения $E = U_{д} - I_{я}(r_{я} + \alpha r_{в})$, ток возбуждения $I_{в} = \alpha I_{я}$, м. д. с. $F_{в} = I_{в}W_{с}$. По нагрузочной характеристике, т. е. зависимости E/n от $(F_{в}, I_{я})$, определяют значение E/n и по формуле (41) находят $c\Phi$. Затем по выражению (40) рассчитывают скорость при заданном токе $I_{я}$.

Расчет характеристики $v(I_{я})$ при $\alpha \neq 1$ для двигателя смешанного возбуждения ведут в такой же последовательности. Отличие заключается в том, что м. д. с. в этом случае определяют из уравнения

$$F_{в} = I_{ш}W_{ш} \pm I_{в}W_{с}, \quad (42)$$

$I_{ш}$ — ток обмотки независимого возбуждения, при котором строят характеристику $v(I_{я})$, $I_{ш} = \text{const}$;

$I_{в}$ — ток обмотки последовательного возбуждения;

$W_{ш}$, $W_{с}$ — число витков обмоток независимого и последовательного возбуждения.

Характеристики силы тяги $F(I)$ строят по формуле

$$F = F_{эм} - \Delta F = 3,6(c\Phi I - \Sigma P_{мм}/v), \quad (43)$$

где $F_{эм}$ — электромагнитная сила тяги, Н;

$\Delta F = 3,6\Sigma P_{мм}/v$ — потери силы тяги на преодоление магнитных и механических потерь в двигателе, а также механических потерь в тяговой передаче;

$\Sigma P_{мм}$ — суммарные магнитные и механические потери мощности в двигателе и механические потери в тяговой передаче, Вт;

v — скорость движения подвижного состава, км/ч.

Потери мощности $\Sigma P_{мм}$ зависят от частоты вращения двигателя n , тока возбуждения $I_{в}$ и потерь мощности в тяговой передаче $P_{зп}$. Эти зависимости обычно определяют при проектировании двигателей и тяговых передач либо экспериментально.

Если при расчете характеристик $F(I)$ зависимости $\Sigma P_{мм}(n, I_{в}, P_{зп})$ отсутствуют, то построить $F_{ов}(I)$ при ослабленном возбуждении можно приближенным методом, располагая характеристикой $F_{пв}(I)$ полного возбуждения. При этом для двигателя последовательного возбуждения следует принять

$$I_{ов} = I_{пв}/\alpha; F_{ов} \approx F_{пв}/\alpha,$$

где $I_{ов}$, $F_{ов}$ — ток якоря и соответствующая ему сила тяги при коэффициенте ослабления возбуждения α ;

$I_{пв}$, $F_{пв}$ — ток якоря и соответствующая ему сила тяги при полном возбуждении.

Приближенный способ построения зависимости $F(I)$ поясняется рис. 70.

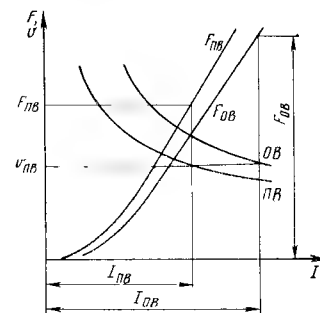


Рис. 70. Графическое построение электромеханических характеристик при ослаблении возбуждения

Показатели	Значения показателей		
	SA-261 1/0	SA-261 1/1	SA-263
Обозначение на схеме	BR1, R, BR2	SN	ST1, ST2, K1, K2
Номинальное напряжение, В	110	110	110
Ток длительный, А	60	60	100
Главные контакты:			
раствор, мм	10,5	10,5	10,5
нажатие конечное, Н	7,5	7,5	7,5
Блок-контакты:			
раствор, мм	4	4	4
нажатие конечное, Н	1,5	1,5	1,5
Сопротивление втягивающей катушки при 20° С, Ом	58	0,096	58
Масса, кг	1,55	1,55	1,7

Примечание. Напряжение цепи управления 24 В.

Контакты контакторов SA-781, SC-12 и SG-11 выполнены из медного уголкового проката. Контакторы SA-261, SA-263 и SE-11 имеют серебряные контакты.

На якорях контакторов со стороны сердечника укреплены тонкие латунные диамагнитные прокладки, а на якорях контакторов SA-781 и SC-11 тонкая латунная пластина имеется и с наружной стороны для предупреждения залипания якоря при остаточном магнетизме в магнитопроводе.

Дугогасительная система включает в себя дугогасительную камеру и дугогасительные рога. Дугогасительные камеры контакторов сборные, изготовлены из двух асбоцементных пластин, соединенных винтами, а у контакторов SA-781 и SC-11 снабжены гетинаксовыми рассекаателями дуги.

Дугогасительное устройство контакторов SA-263, SE-11 и SC-12 не имеет дугогасительной катушки, а направленное магнитное поле, необходимое для быстрого гашения электрической дуги, создается постоянным магнитом, который вместе с дугогасительной камерой закреплен на держателе неподвижного контакта.

В зависимости от назначения контактора в нижней его части может монтироваться необходимое число блок-контактов, снабженных контактными пружинами. Основные технические характеристики контакторов приведены в табл. 6.

Обслуживание контакторов. В процессе эксплуатации необходимо следить за состоянием контактного устройства, дугогасительной и магнитной систем. Обгоревшие контакты зачищают плоским напильником с мелкой насечкой. Проверяют смещение подвижного контакта относительно неподвижного (допустимо смещение не более 1,5 мм); контакты должны соприкасаться ли-

для контакторов				
SE-11	SA-781	SC-12	SG-11	RA-118
SK1	M1, M2, B1, B2, SV, P1—P4, Z1 Z4, M _д	F1—F4	R1, R2	RB
110	750	110	750	110
100	200	200	350	2
10,5	16	16	15,5	—
7,5	50	50	50	—
—	3	3	3	3
—	1,5	1,5	2,5	—
0,3	24	24	17,7	87
1,7	8,3/7,85	5,8	10,3	3,2

нейно. Дугогасительную камеру очищают от следов нагара, медной пыли; проверяют плотное ее прилегание к дугогасительному рогу неподвижного контакта и надежное крепление на полюсах.

Якорь магнитной системы должен легко поворачиваться на призме, а в притянутом положении плотно прилегать к сердечнику. В отсутствии механических заеданий убеждаются, включив контактор несколько раз вручную. При осмотре контактора необходимо проверить затяжку всех винтовых соединений, исправность гибких шунтов. Все детали контактора очищают от пыли и загрязнений струей сухого воздуха.

16. УСТРОЙСТВО И КОМПОНОВКА КОНТАКТОРНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Контакторы и реле, обеспечивающие коммутацию силовых цепей, управление подвижным составом и защиту электрооборудования, для удобства монтажа, облегчения ремонта и сокращения проводки группируют по изоляционным панелям и ящикам. Панели заводом-изготовителем унифицированы и поставляются комплектом. Конструкция и компоновка контакторных панелей зависят от системы управления и электрической схемы, определяющих качество и типы контакторов и особенностей конструкции самого подвижного состава. Панели устанавливают в кабине или в специальных камерах и закрывают щитками. Ящики подвешивают под кузовом и от попадания внутрь их пыли и влаги надежно защищают уплотнениями.

Контакторная панель представляет собой изоляционную доску, укрепленную на металлическом каркасе, на которой монтируют

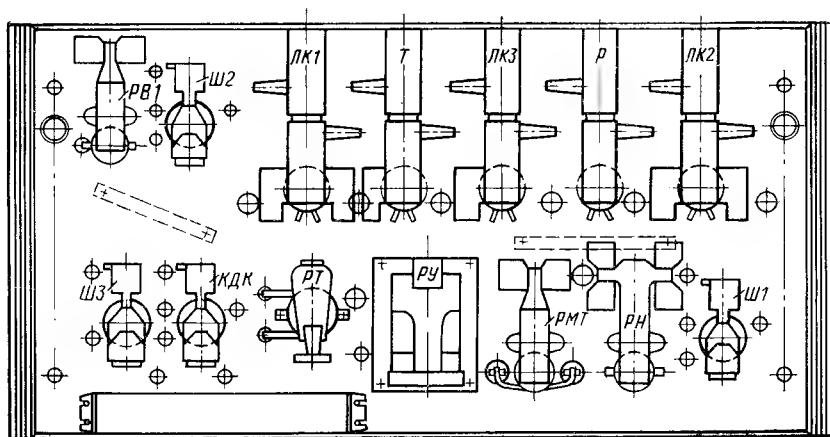


Рис. 37. Контактная панель ТП-94В

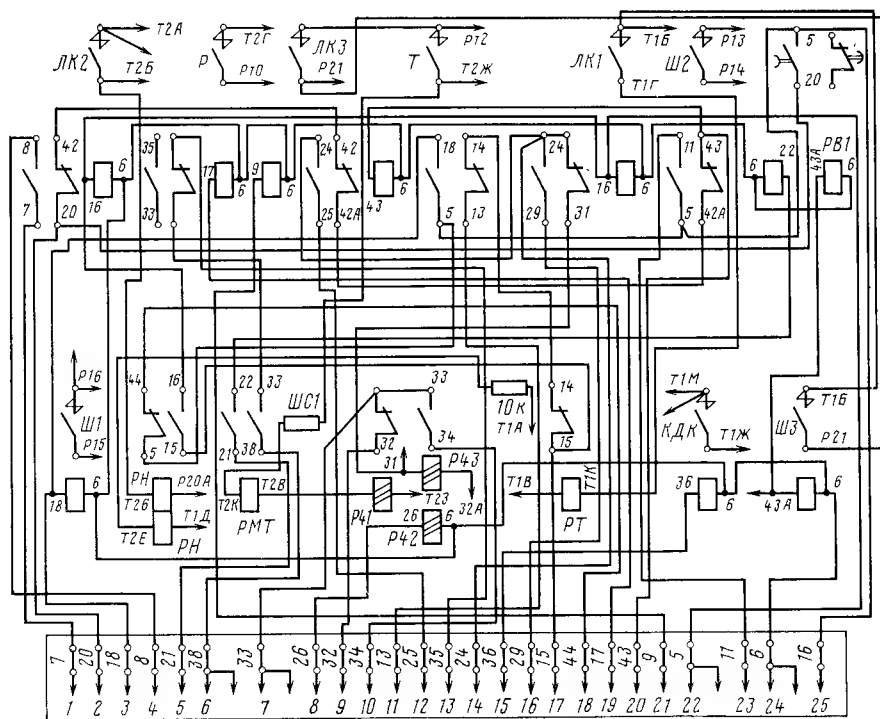


Рис. 38. Монтажная схема панели ТП-94В

аппараты. Панель может крепиться неподвижно, если имеется свободный доступ к задней части панели, или иметь шарниры, позволяющие откидывать панель внутрь кабины, чтобы обеспечить доступ к монтажу задней части панели при осмотре в процессе эксплуатации.

Для примера рассмотрим компоновку контакторной панели ТП-94В (рис. 37), устанавливаемой на троллейбусе ЗиУ-9. На доске из гетинакса, покрытой лаком, смонтированы аппараты: пять контакторов КПП-113 (линейные контакторы ЛК1 и ЛК2, контактор выбора люфта в силовой передаче ЛК3, тормозной контактор Т и контактор хода Р); четыре контактора КПД-110Е (контакторы цепи независимой обмотки тягового двигателя Ш1, Ш2, Ш3, контактор включения двигателя компрессора КДК); реле максимального тока РТ типа РЭВ-571; реле минимального тока РМТ типа РЭВ-830; реле ускорения РУ типа Р-52Б; реле минимального напряжения (реле нулевое РН) типа РЭВ-821; реле времени РВ1 типа РЭВ-816; резистор ПЭ-75 сопротивлением 10 кОм и шунт 75ШСМ закреплены на обратной стороне панели; контактная рейка КР на 25 выводов. Монтаж силовых цепей выполнен индивидуальным подводом проводов к каждому аппарату. Подсоединение внешних проводов цепи управления осуществлено зажимами контакторной рейки, расположенной на лицевой стороне панели. Панель укреплена на металлических угольниках, снабженных шарнирами, позволяющими поворачивать ее внутрь кабины на угол 30° для осмотра и ремонта аппаратов. Панель закрывается кожухом,клеенным асбестовой тканью с внутренней стороны и имеющим отверстие для вентиляции. Монтажная схема панели ТП-94В представлена на рис. 38.

17. ГРУППОВЫЕ АППАРАТЫ

Общие сведения. Групповые аппараты представляют собой совокупность переключающих устройств, объединенных в один блок и связанных общим валом, который может иметь ручной, пневматический или электрический привод. Основными частями группового аппарата являются контакторные элементы кулачкового типа (кулачковые контакторы), кулачковый вал, привод, фиксирующее и блокирующее устройства реле, резисторы и корпус. Применение групповых аппаратов по сравнению с индивидуальными контакторами позволяет упростить электрическую схему, обеспечить надежность очередности включения контакторов. Групповые системы управления позволяют осуществлять многоступенчатый пуск и торможение электродвигателей при сравнительно небольшом объеме электроаппаратуры.

К групповым аппаратам относятся контроллеры для непосредственного управления подвижным составом, для косвенного управления, реостатные контроллеры, реверсоры, отключатели тяговых двигателей и др.

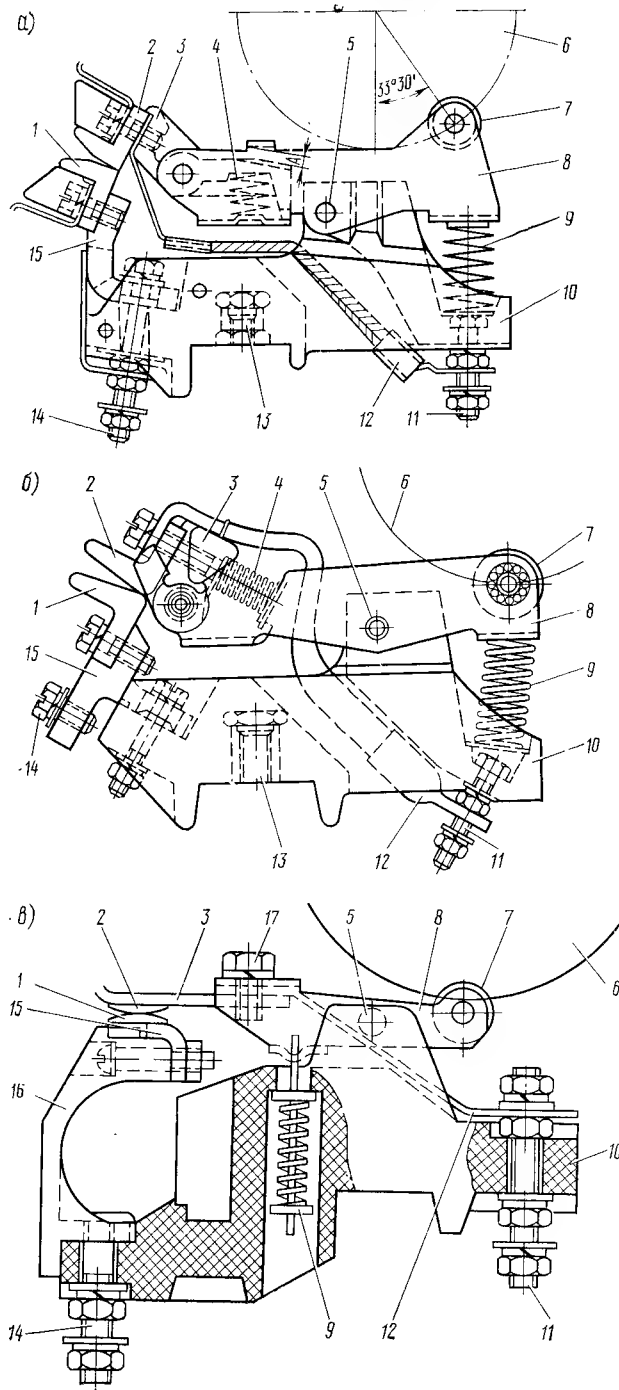
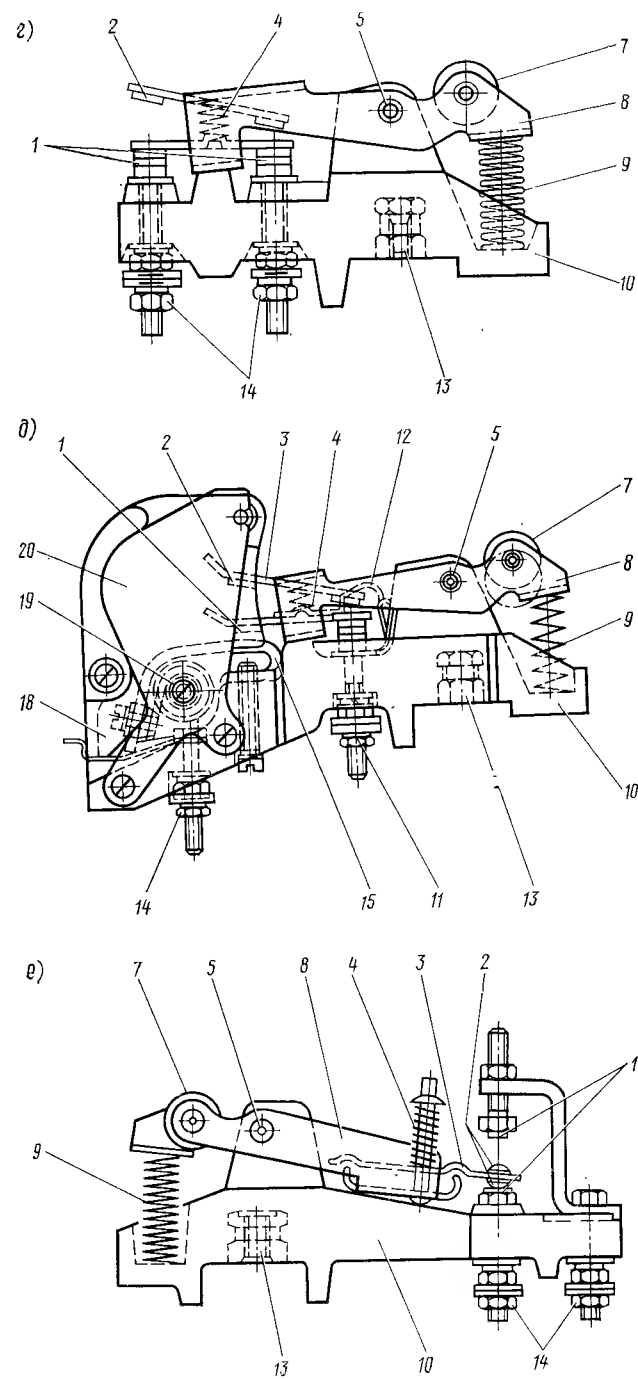


Рис. 39. Кулачковые контакторы типа КЭ-41 (а); КЭ-47



(б); КЭ-52 (в); КЭ-44 (г); КЭ-42 (д), КЭ-54 (е)

Контроллеры для непосредственного управления (силовые) выполняют переключения непосредственно в силовых цепях, контроллеры косвенного управления — в цепях управления; реостатный контроллер переключает секции пусковых и тормозных реостатов; переключатели предназначены для переключения двигателей из тягового режима работы в тормозной и для переключения двигателей с одного соединения на другое; реверсор обеспечивает изменение направления вращения тяговых двигателей.

В качестве переключающих устройств в групповых аппаратах используют кулачковые контакторы, которые замыкают и размыкают электрические цепи в определенной последовательности при вращении кулачкового вала.

Кулачковые контакторные элементы. В зависимости от назначения и параметров электрической цепи применяют кулачковые контакторные элементы (кулачковые контакторы), имеющие различные технические данные и конструктивное исполнение. Кулачковые контакторы КЭ-41, КЭ-46, КЭ-47, КЭ-52 и КЭ-61 предназначены для переключения силовых цепей, КЭ-42 и КЭ-54 — для размыкания и замыкания цепей управления, КЭ-44 — для вспомогательных цепей высокого напряжения и цепей управления. Основанием кулачкового контактора (рис. 39) является изолятор 10, изготовленный из пластмассы. На оси 5, закрепленной на основании, имеется рычаг 8. На одном плече рычага крепится держатель 3 с подвижным контактом 2 и контактной пружиной 4, а на другом плече ролик 7, который включающей пружиной 9 прижимается к рабочей поверхности кулачковой шайбы 6. Держатель 15 неподвижного контакта 1 укреплен на изоляторе с помощью зажима 14. Подвижной контакт связан с зажимом 11 гибким шунтом 12.

Кулачковый контактор крепится на рейке болтом, который ввертывается в гайку 13, запрессованную в изоляционное основание. При вращении кулачковой шайбы ролик кулачкового контактора катится по наружному диаметру шайбы, при этом контакты 1 и 2 разомкнуты. При скатывании ролика во впадину шайбы рычаг 8, поворачиваясь на оси под действием пружины 9, замыкает подвижной контакт с неподвижным. Необходимое нажатие контактов создается пружинами 4 и 9. Размыкаются контакты кулачкового контактора под действием кулачковой шайбы при набегаии ролика на выступ шайбы.

Особенностью конструкции кулачковых контакторов КЭ-52 и КЭ-61 является наличие только одной включающей пружины 9. Держатель 15 укреплен винтом на фигурной стойке 16, являющейся токоведущим элементом, связывающим неподвижный контакт 1 с контактным болтом 14, обеспечивающим присоединение кабельного наконечника одного из силовых проводов. Держатель 3 подвижного контакта жестко соединен с рычагом 8 посредством винта 17, с помощью которого также крепится наконечник шунта из медной фольги 12, обеспечивающий электрическое соединение подвижного контакта с контактным болтом 11. Кабельный на-

Таблица 7

Показатели	Значения показателей для кулачковых контакторов							
	КЭ-41	КЭ-46	КЭ-47	КЭ-52	КЭ-61	КЭ-44	КЭ-42	КЭ-54
Номинальное напряжение, В	550	750	750	550	550	550	550	24
Длительный ток, А	100	220	220	150	150	25	25	20
Провал контактов, мм	4	10±0,5	10±0,5	—	—	3	3	3
Раствор контактов, мм	10	10—16	10—16	10	10	13	13	5
Конечное нажатие, Н	22	40—50	40—50	14	14	5	3,1	3
Материал контактов	Медь	Медь	Медь	СН-40	Медь	Серебро		Серебро
Масса, кг	1,33	3,0	2,5	0,75	0,75	0,41	0,15	0,32

печник второго силового провода присоединяют к контактному болту 11. В конструкции контактора КЭ-52 нет скольжения контактов вследствие применения металлокерамических контактов, окисные пленки которых имеют такое же удельное сопротивление, как и неокисленные контакты. Контакты кулачкового контактора КЭ-61 выполнены из меди.

Неподвижные контакты 1 кулачкового контактора КЭ-42 выполнены из серебряных пластинок, припаянных к верхним концам контактных болтов 14, которые служат для присоединения наконечников соответствующих проводов цепи управления. Замыкание и размыкание цепи осуществляются подвижными контактами в виде серебряных пластинок, припаянных к контактному мостику 2, шарнирно соединенному с левым концом рычага 8.

Кулачковый контактор КЭ-44 имеет конструкцию, аналогичную кулачковому контактору КЭ-42, но он снабжен дугогасительным устройством, состоящим из дугогасительной катушки 19, полюсных наконечников 20 и дугогасительной камеры 18, которая в рабочем положении запирается защелкой. Кулачковый контактор КЭ-54 применяют для управления приводом групповых реостатных контроллеров. В отличие от кулачкового контактора КЭ-42 имеет два неподвижных контакта 1 и к держателю 3 припаяны две серебряные пластинки — подвижные контакты 2 (один замыкающий, второй размыкающий). Технические данные кулачковых контакторных элементов приведены в табл. 7.

18. КОНТРОЛЛЕРЫ КОСВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ

При косвенных системах все операции управления приводами электрических аппаратов осуществляются с помощью контроллера управления (контроллера водителя). Водитель посредством

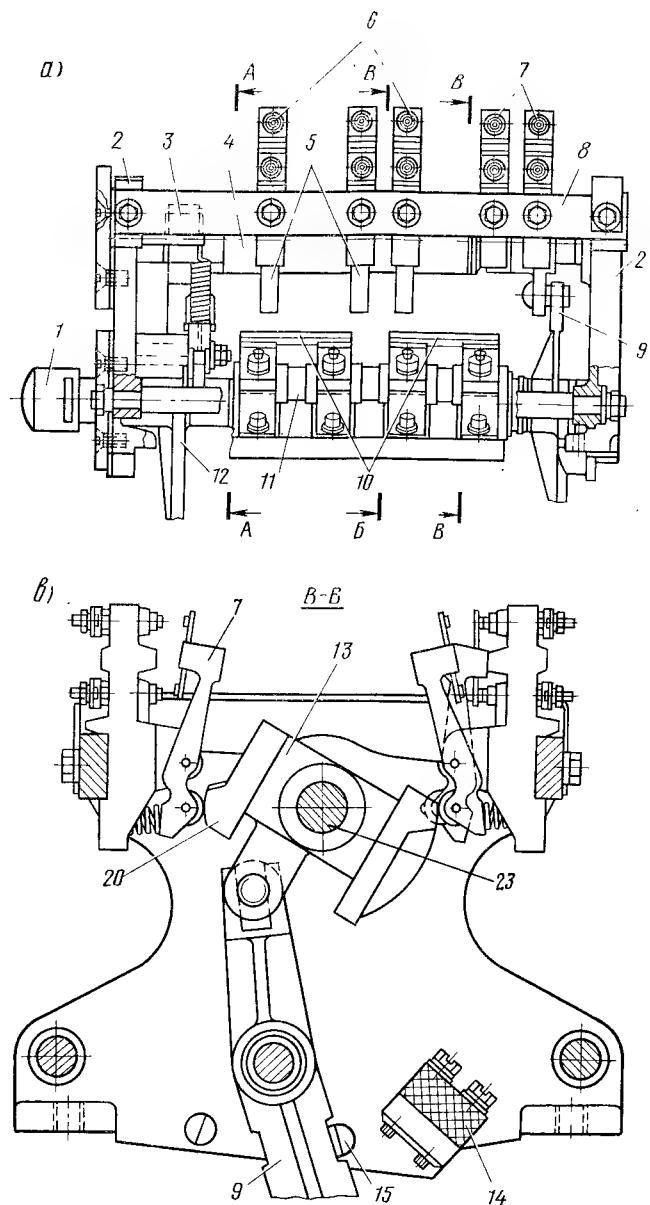
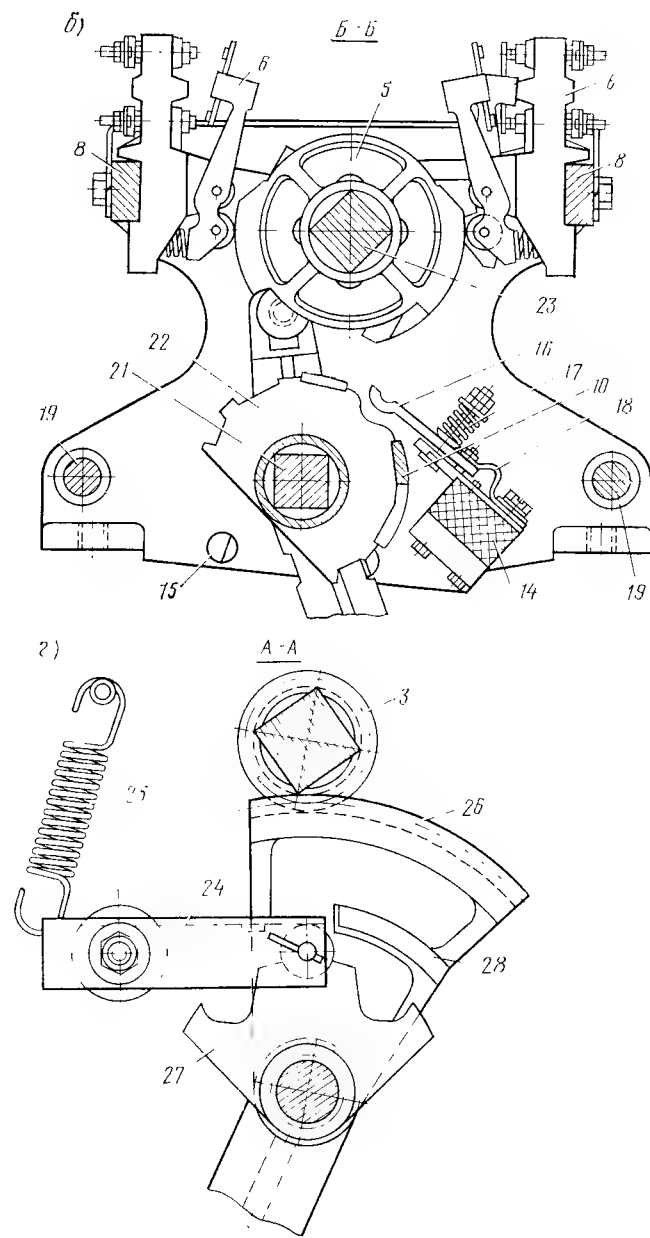


Рис. 40. Общий вид контроллера управления КВП-22Б (а); контроллера хода



и реверсора (б); тормозного контроллера (в) и механической блокировки (г)

контроллера управления задает режим работы тяговому двигателю — пуск, регулирование скорости или торможение.

Контроллеры для косвенного управления применяют на троллейбусах ЗиУ-9 — типа КВП-22Б, на троллейбусе 9Тр — типа КТД-2; на трамвайных вагонах РВЗ-6М-2 и КТМ-5М-3 — соответственно типов КВ-34А и КВ-42Г и трамвайном вагоне Т-3 — типа Н-14.

Контроллер управления КВП-22Б имеет педальное управление. На рис. 40 разрез б выполнен по контроллеру хода и реверсору, разрез в — по тормозному контроллеру и разрез г — по механической блокировке контроллера хода и реверсора. Две литые рамы 2 из сплава алюминия, соединенные шпильками 19 и металлическими рейками 8, образуют каркас контроллера. В подшипниковых узлах рам расположены главный 4 и реверсивный 11 валы. На квадратном сечении главного вала 23 установлены три изоляционные кулачковые шайбы 5, образующие пусковой барабан. Шайбы имеют профиль, соответствующий схеме развертки контроллера хода (рис. 41). По обе стороны пускового барабана на металлических рейках 8 (см. рис. 40) закреплены шесть ку-

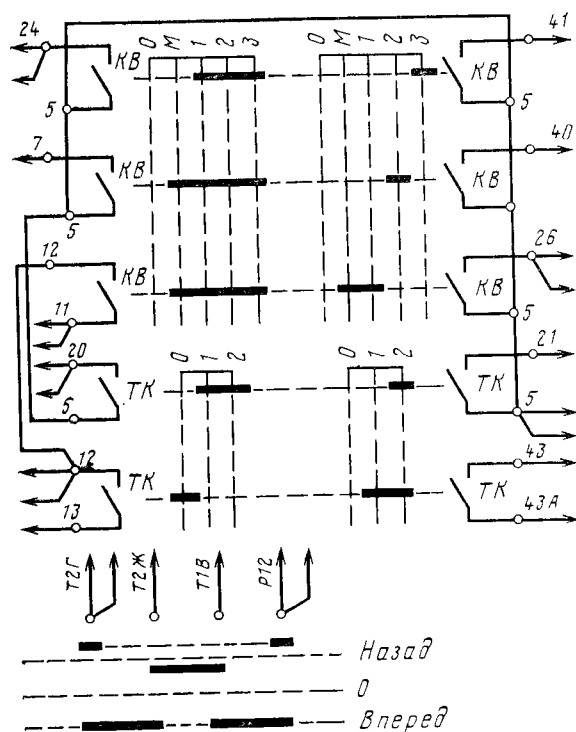


Рис. 41. Монтажная схема контроллера управления КВП-22Б

лачковых контакторов 6 типа КЭ-42. Каждая кулачковая шайба приводит в действие два кулачковых контактора. Кулачковые контакторы включены в цепь управления. Усилие от правой педали через систему тяг передается на рычаг 12 зубчатого сектора 26, который сцепляется с шестерней 3, насаженной на вал 23. При этом включаются кулачковые контакторы 6, замыкающие цепи включающих катушек контакторов, обеспечивающих пуск тягового двигателя. Контроллер хода имеет пять нефиксируемых положений. Ход сектора ограничивается двумя приливами 15 на раме каркаса.

Тормозной контроллер предназначен для управления тормозным режимом работы тягового двигателя. Он состоит из тормозного барабана 13 (рис. 40, в) с укрепленными на нем кулачками 20 из изоляционного материала. Кулачки приводят в действие четыре кулачковых контактора 7 типа КЭ-42, укрепленных на тех же рейках 8, что и кулачковые контакторы контроллера хода. Тормозной барабан вращается на цилиндрической части главного вала 23 и приводится в действие от тормозной педали через тягу и рычаг 9, свободно установленный на реверсивном валу. На верхнем конце рычага закреплена вилка, в которую входит палец тормозного барабана. Перемещение рычага ограничивается приливами 15 на раме. Тормозной контроллер имеет три нефиксируемых положения.

Реверсор предназначен для изменения направления тока в обмотке якоря двигателя и обмотках дополнительных полюсов, в результате чего изменяется направление вращения якоря тягового двигателя. Полярность главных полюсов при этом не меняется.

Реверсивный барабан собран из пластмассовых шайб 22 (сегментодержателей), укрепленных на валу 21. Подвижные контакты выполнены в виде медных сегментов 10 и закреплены в пазах шайб винтами. Неподвижные контакты реверсора имеют пальцевую конструкцию. В пазах пластмассовой рейки 14 укреплены четыре пальцедержателя с контактными пальцами 16, шунтами 18 из медной ленты и контактными пружинами 17. Контактное нажатие пальцевого контакта на сегмент регулируется гайкой, оно должно быть в пределах 25—30 Н. Провал контакторов реверсора 2,5—3 мм.

На выступающем конце реверсивного вала укреплен головка 1, имеющая вырезы для съемной рукоятки реверсора. Реверсивный барабан имеет три фиксированных положения: «Вперед», «Нулевое» и «Назад». Пусковой и реверсивный барабаны сблокированы между собой механической блокировкой (рис. 40, г) таким образом, что пусковой барабан нельзя перевести в ходовое положение, если реверсивный барабан не установлен в положение «Вперед» или «Назад». Для этого на реверсивном валу установлен храповик 27, а на раме контроллера укреплен фиксатор 24 с роликом и пружиной 25. При положении «Нулевое» реверсивного барабана ролик фиксатора размещается в более мелкой впадине храповика и фиксатор будет поднят вверх, упираясь в

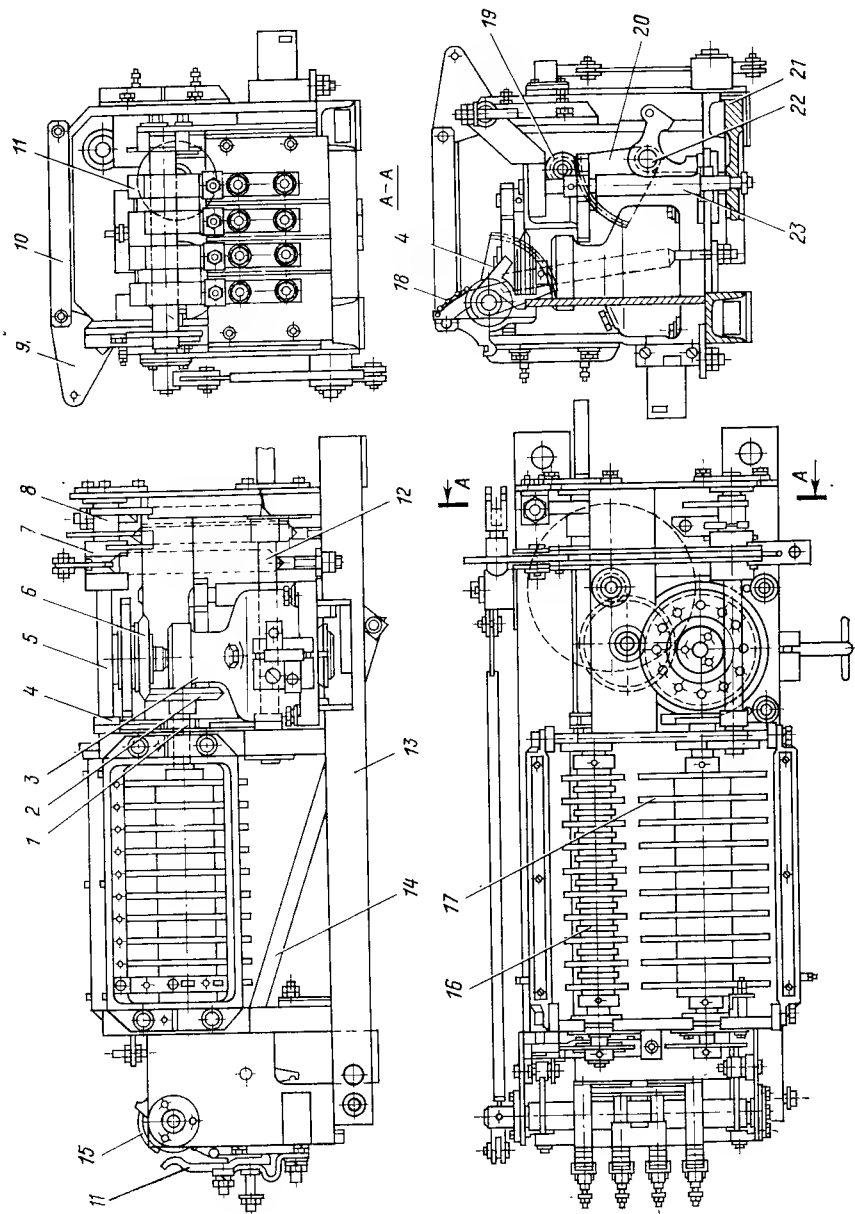


Рис. 42. Контроллер управления КТД-2

упор 28 сектора и препятствуя его повороту. Впадины храповика, соответствующие рабочему положению реверсивного барабана, более глубокие, поэтому фиксатор опускается ниже упора 28 зубчатого сектора и пусковой барабан свободно вращается. Реверсивный барабан также можно перевести из рабочего положения в «Нулевое» только в том случае, если пусковой барабан установлен на нулевом положении.

На изоляционной панели каркаса смонтированы конденсаторы и резисторы помехоподавляющего устройства (на рис. 41 не показаны). Они подключены параллельно контактам кулачковых элементов тормозного контроллера.

В контроллере управления КТД-2 (рис. 42) на сварном каркасе 13 укреплены контроллер хода 17 с порошковой электромагнитной муфтой 3 и маховиком 21, тормозной контроллер 16 и реверсор 15.

Пусковой барабан контроллера представляет собой набор бакелитовых кулачковых шайб. Вращается он в подшипниках, установленных в боковинах каркаса. На изоляционной рейке каркаса укреплены десять кулачковых контакторов типа 5SV. Их ролики пружинами прижимаются к рабочим поверхностям кулачковых шайб. Каждая шайба приводит в действие один кулачковый контактор. Пусковой барабан соединен с валом электромагнитной муфты 3 посредством двух конических шестерен 2 и 6. В коническую шестерню 6 и шестерню вала муфты, передающую вращение на промежуточный вал 22 и маховик 21, запрессованы механизмы свободного хода (расцепления) модели «Velo». Вращение пускового барабана осуществляется от ходовой педали через поворотный рычаг 9, тягу 10, упоры 8 и 7, промежуточный вал 5, зубчатый сектор 4 и шестерню 1, укрепленную на валу пускового барабана.

Частота вращения пускового барабана контролируется порошковой электромагнитной муфтой. В корпусе из сплава алюминия (рис. 43) размещен электромагнит. Он состоит из цилиндрического ярма, сердечника, токовой катушки и вращающегося на подшипниках дискового якоря. Катушка электромагнита включена последовательно в цепь тягового двигателя. При определенном токе, проходящем по катушке электромагнита, вращение якоря блокируется. Значения блокирующего и отпускающего токов регулируют изменением воздушного зазора соответственно T_1 и T , для чего

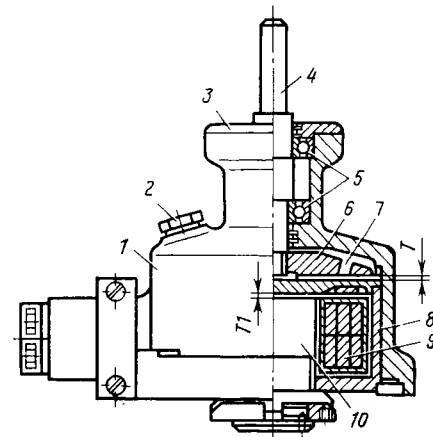


Рис. 43. Электромагнитная порошковая муфта контроллера управления КТД-2: 1 — корпус; 2 — заливная горловина; 3 — крышка; 4 — вал; 5 — подшипник; 6 — диск; 7 — отверстие в диске; 8 — ярмо; 9 — катушка; 10 — сердечник

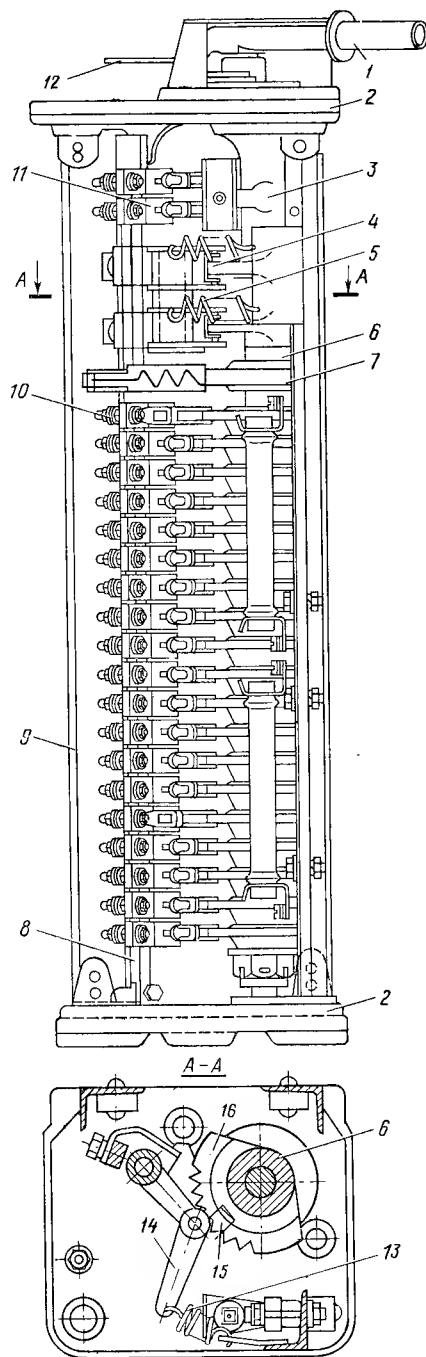


Рис. 44. Контроллер КВ-34А

служит резьбовое соединение сердечника с втулкой ярма. После регулировки сердечник фиксируется специальной шайбой.

Маховик служит для сглаживания рывков, благодаря чему осуществляется плавное вращение пускового барабана при включении и выключении порошковой электромагнитной муфты. Механизм свободного хода позволяет маховику поворачиваться и при заблокированном якоре электромагнитной муфты.

Тормозной барабан приводится в действие от тормозной педали (см. рис. 42) через промежуточный вал 22, зубчатый сектор 20 и шестерню 19. При вращении тормозного барабана его кулачковые шайбы осуществляют включение и выключение кулачковых контакторов, укрепленных на второй рейке каркаса. Тормозной контроллер также имеет десять кулачковых контакторов.

Реверсор контроллера управления КТД-2 имеет конструкцию, аналогичную реверсору контроллера КВП-22Б. Управляется реверсор с помощью рычага, расположенного в кабине с правой стороны от сиденья водителя. (На рис. 42 позиции: 11 — пальцы реверсора; 18 — цепь; 19 — шестерня тормозного вала).

Взаимодействие аппаратов контроллера управления КТД-2 контролируется блокировочным механизмом, позволяющим переключать реверсор только в том случае, когда ходовой и тормозной контроллеры находятся в нулевом положении. Блокировочный механизм со-

стоит из блокирующего диска и блокирующих рычагов. В контроллере установлена панель с конденсаторами помехоподавляющего устройства.

Контроллер управления КВ-34А состоит из каркаса 9 (рис. 44), главного барабана 6, реверсивного барабана 3, фиксирующего 5 и блокирующего 4 механизмов и стойки 8 с кулачковыми контакторами 7, 10, 11.

Каркас контроллера образуют литые основание и крышка, скрепленные между собой угольниками. На шариковых подшипниках, установленных в основании и крышке, крепится вал главного барабана, на квадратное сечение которого насажены 20 кулачковых шайб. На верхнем конце вала укреплен несъемная рукоятка 1, с помощью которой главный барабан может поворачиваться в обе стороны от нулевого положения на угол 48° . Он имеет девять фиксированных положений: нулевое; четыре ходовых (при вращении рукоятки против часовой стрелки); три положения электрического торможения и одно рельсового торможения (при вращении рукоятки по часовой стрелке). К крышке каркаса привернута сегментная планка с надписями «Ход» и «Тормоз». При вращении главного барабана кулачковые шайбы замыкают и размыкают кулачковые контакторы. Их всего 20: верхний кулачковый контактор 7 типа КЭ-48 установлен под блокирующим механизмом и предназначен для включения рельсовых тормозов; остальные 19 типа КЭ-42. Кулачковый контактор КЭ-48 имеет конструкцию, аналогичную контактору КЭ-42, но выполнен с дугогасительным устройством.

Реверсивный барабан 3 свободно надет на цилиндрическую часть главного вала и расположен над блокирующим механизмом 4 (под крышкой 2 контроллера). Он состоит из кулачкового барабана и двух кулачковых контакторов 11 типа КЭ-42. Реверсивный барабан имеет три фиксированных положения: «Вперед», «Стоп», «Назад». Управляется он с помощью съемной рукоятки 12.

Главный барабан связан с реверсивным барабаном, блокирующим механизмом, позволяющим поворот рукоятки 1 только в том случае, когда реверсивный барабан установлен в положение «Вперед» или «Назад».

Блокирующий механизм контроллера состоит из двух стальных звездочек 16, из которых одна установлена на валу главного барабана 6, а другая на реверсивном барабане, и двух двуплечих рычагов 14, закрепленных на стойке 8. Верхний рычаг — блокировочного устройства, нижний служит для фиксации ходовых и тормозных положений главного барабана. На одном конце каждого рычага имеется ролик, а другие концы соединены с пружинами 13. Верхний рычаг дополнительно снабжен пальцем 15.

В положении реверсивного барабана «Стоп» ролик верхнего рычага заходит в среднюю впадину звездочки реверсивного барабана, а палец 15 — в паз звездочки главного барабана, в результате чего главный барабан блокируется. При установке реверсивного барабана в положение «Вперед» или «Назад» ролик блокировочного рычага выходит из средней впадины звездочки реверсивного

барабана и входит в одну из крайних впадин под действием пружины 13, а палец блокировочного рычага выходит из паза звездочки главного барабана, после чего главный барабан может свободно поворачиваться. При вращении главного барабана ролик фиксирующего рычага переходит из одной в другую впадину звездочки главного барабана, фиксируя его положение.

В контроллере установлены панели с двумя нерегулируемыми и одним регулируемым резисторами ПЭ-75, которые включены в цепь реле ускорения и торможения (РУТ). На вагоне контроллер встроен в пульт управления и закрыт общим кожухом.

Контроллер управления КВ-42Г имеет конструкцию, аналогичную контроллеру КВ-34А. Главный барабан рассчитан на десять фиксированных положений: одно нулевое, четыре ходовых и пять тормозных. Он приводит в действие 17 кулачковых контакторов, из которых 16 контакторов КЭ-42 и один КЭ-48. Реверсивный барабан осуществляет переключения в цепи управления двумя кулачковыми контакторами КЭ-42.

Контроллер управления Н-14 устанавливается в кабине под пультом управления и имеет педальный привод через рычаги 12 и 3. Пусковой барабан образуют три кулачковых 11 и одна упорная шайбы, насаженные на стальную трубу. Он приводом связан с пусковой педалью 1 и имеет пять нефиксированных положений. Каждая кулачковая шайба включает и выключает два кулачковых элемента согласно развертке контроллера (рис. 45, б). Кулачковые контакторы 6 (рис. 45, а) монтируют на изоляционных панелях, расположенных по обе стороны от пускового и тормозного барабанов (шесть кулачковых контакторов $JK1—JK6$ пускового контроллера и десять $BK1—BK10$ тормозного контроллера). Тормозной контроллер выполнен из пяти кулачковых шайб 9 и упорной 8, укрепленных на валу, который проходит через отверстие цилиндри-

Показатели	Значения показателей для контроллеров управления					
	КВП-22В	КТД-2	КВ-33А	КВ-34А	КВ-42Г	Н-14
Напряжение, В	24	24/600*	50	50	24	24
Ток длительного режима, А	25	6	20	25	20	6
Тип кулачкового контактора	КЭ-42	5 SN	КЭ-42; КЭ-44	КЭ-42; КЭ-48	КЭ-42; КЭ-48	
Число контакторов	10	20	5	20	17	16
Число контактов реверсивного барабана	4	4	—	2	2	—
Масса контроллера, кг	23	60	7,5	0	48	17,2

* Контроллер управления включен в цепь управления напряжением 24 В, электромагнитная муфта в силовую цепь 600 В.

ческого вала пускового барабана и с помощью привода связан с тормозной педалью 2. Пусковой и тормозной барабаны вращаются в подшипниках, установленных в боковинах 7 каркаса, угол поворота их ограничивается упорными шайбами 10 и 8, а полный разворот педалей ($40 \pm 1^\circ$) — резиновыми упорами. Возврат барабанов в исходное (нулевое) положение осуществляется пружинами 5.

Тормозной барабан имеет пять нефиксированных положений электрического реостатного торможения, среднее (шестое) фиксированное положение — включается колодочный тормоз и седьмое нефиксированное положение — включается рельсовый тормоз. Фиксирующее устройство 4 тормозной педали состоит из храповика и рычага с пальцем — «защелки».

При осуществлении торможения вагона следует тормозную педаль нажимать с упором на верхнюю ее часть, а для освобождения педали с фиксированного положения (для «снятия с защелки») педаль следует нажимать с упором на нижнюю ее часть и затем плавно устанавливать в верхнее нулевое положение.

Технические данные контроллеров для косвенного управления приведены в табл. 8.

19. ГРУППОВЫЕ РЕОСТАТНЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ

Групповые реостатные контроллеры предназначены для выведения пускотормозных реостатов из цепи тягового двигателя, ослабления возбуждения двигателей и переключений в цепи управления, связанных с автоматическим пуском. На троллейбусе ЗиУ-9 применяют групповой реостатный контроллер типа ЭКГ-20Б, на трамвайных вагонах РВЗ-6М-3 и КТМ-5М-3 — соответственно типов ЭКГ-16А и ЭКГ-33Б.

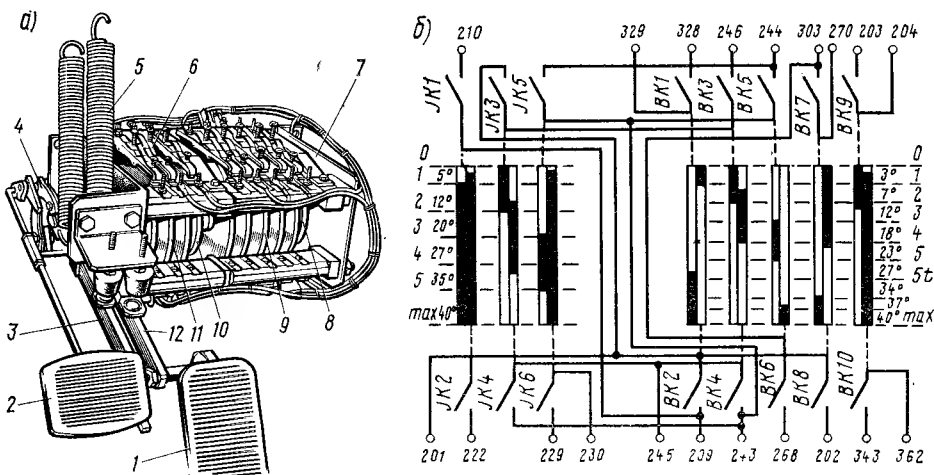


Рис. 45. Общий вид (а) и монтажная схема (б) контроллера управления Н-14

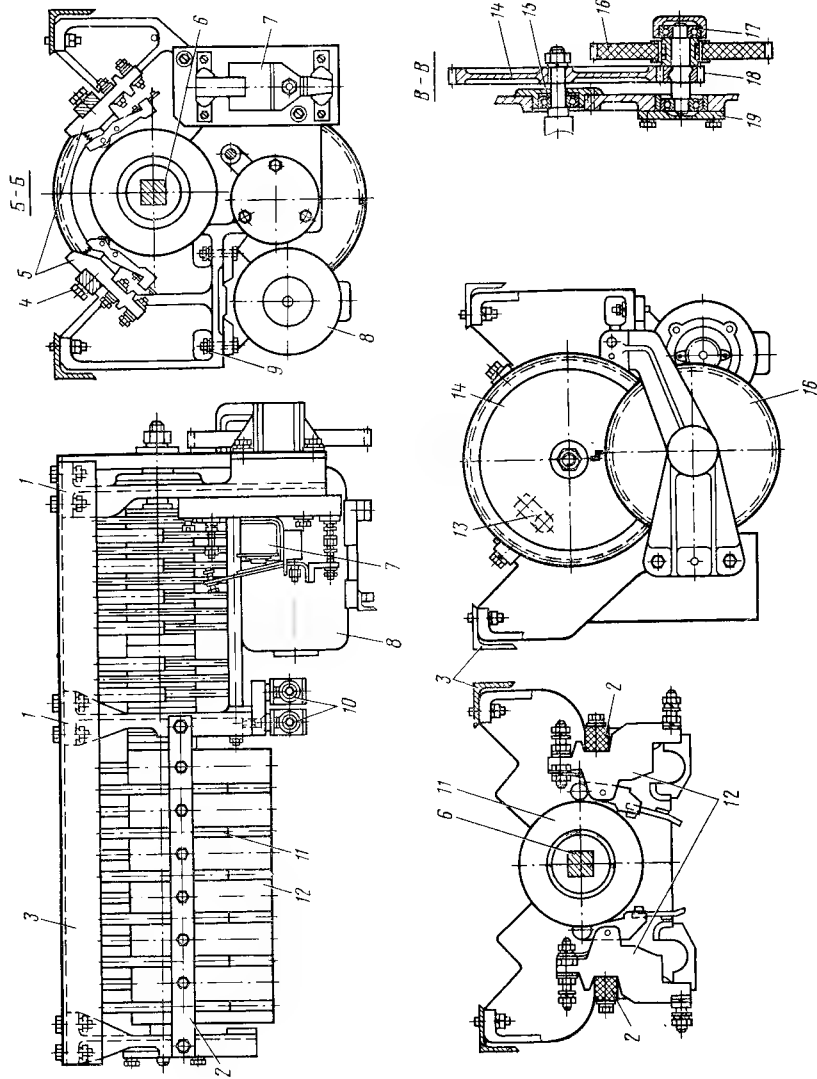


Рис. 46. Общий вид группового реостатного контроллера ЭКГ-20Б-1:

1 — рама; 2, 4 — изоляционные рейки; 3 — уголок; 5 — кулачковый контактор КЭ-42; 6 — вал; 7 — стоп-реле; 8 — серводвигатель; 9 — болты крепления серводвигателя; 10 — резистор; 11 — кулачковая шайба; 12 — силовой кулачковый контактор КЭ-52; 13 — ограничитель; 14 — ведомая шестерня; 15, 17, 19 — шариковые подшипники; 16 — текстолитовая шестерня; 18 — ведущая шестерня

Контроллер ЭКГ-20Б имеет электродвигательный (серводвигательный) привод. Каркас контроллера состоит из трех алюминиевых боковин (рис. 46), связанных угольниками и рейками 4. В крайних боковинах установлены шариковые подшипники, в которых вращается кулачковый барабан, выполненный из кулачковых шайб, насаженных на четырехгранный вал 6 и стянутых корончатой гайкой. Расстояние между кулачковыми шайбами регулируется дистанционными втулками и прокладками. Кулачковый барабан рассчитан на 18 позиций. По обе стороны кулачкового барабана на текстолитовых рейках смонтированы 12 силовых кулачковых контакторов типа КЭ-52 (или КЭ-61). На стальных рейках, расположенных под углом 45° к вертикали, смонтированы восемь кулачковых контакторов типа КЭ-42 и один контактор типа КЭ-54.

Кулачковые контакторы КЭ-52 (КЭ-61) включены в силовую цепь и служат для выведения пускового и регулировочного реостатов из цепи тягового двигателя. Силовая схема составлена таким образом, что контакторы работают без разрыва тока, т. е. контактор включается после того, как параллельно с ним замкнется другой контактор. Это дает возможность применять контакторы без дугогашения.

Кулачковые контакторы КЭ-42 и КЭ-54 осуществляют переключения в цепи управления. Определенная последовательность включения и выключения кулачковых контакторов обеспечивается соответствующим выбором размеров и расположения по окружности кулачковых шайб впадин и выступов. Кулачковая шайба приводит в действие один кулачковый контактор. Кулачковые контакторы расположены в шахматном порядке с обеих сторон кулачкового барабана. Монтажная схема и развертка группового реостатного контроллера представлена на рис. 47.

Приводом кулачкового барабана служит серводвигатель ПЛ-072Д. Он укреплен на площадке каркаса. Двигатель ПЛ-072Д самовентилируемый, двухполюсный, с двусторонним вращением, причем каждому направлению вращения соответствует прохождение электрического тока по обмотке одного из двух полюсов. Рабочим является прямое направление вращения. Вращающий момент от двигателя на кулачковый барабан передается через двухступенчатую передачу, состоящую из двух пар цилиндрических шестерен с общим передаточным числом 38,5. Первая ведомая шестерня изготовлена из текстолита, что уменьшает шум при работе передачи. Для остановки кулачкового барабана в крайних положениях ко второй ведомой шестерне приварен сегмент, а на боковине каркаса предусмотрен упор.

На изоляционной панели каркаса крепятся два резистора ПЭ-75 на 3 и 10 Ом (последний регулируемый). Они предназначены для регулирования частоты вращения якоря серводвигателя. Для остановки серводвигателя на фиксированных позициях: 15, 17 и 18-й предусмотрено стоп-реле типа РМ-3000.

Групповой реостатный контроллер подвешивают к основанию кузова троллейбуса на болтах, изолированных от контроллера

Показатели	Значения показателей для групповых реостатных контроллеров и реверсоров				
	ЭКГ-20Б	ЭКГ-16А	ЭКГ-33Б	ПР-759В	МР-4А
Напряжение цепи управления, В	24	50	24	50	24
Число позиций	18	13	17	2	2
Число силовых контакторов	12	16	22	8	8
Число контакторов управления	9	12	13	4	4
Масса, кг	75	63	132	46	58

пластмассовыми втулками, шайбами и фарфоровыми изоляторами. Весь механизм группового реостатного контроллера заключен в кожух из листовой стали, съемная крышка крепится к основанию специальными запорами. В пазу основания проложена войлочная прокладка для уплотнения.

Для осмотра аппаратов группового реостатного контроллера в полу троллейбуса предусмотрен люк, закрываемый крышкой.

Контроллер ЭКГ-16А имеет конструкцию, аналогичную реостатному контроллеру ЭКГ-20Б.

Кулачковый барабан реостатного контроллера ЭКГ-16А рассчитан на 13 позиций. С целью получения большего числа рабочих позиций используются оба направления вращения кулачкового барабана. Угол поворота на одну позицию составляет 24° , полный угол поворота вала 314° . Приводится в действие он серводвигателем ПЛ-072Е. Переключения в силовой цепи осуществляются кулачковыми контакторами КЭ-ЧД (силовыми КЭ-47) и КЭ-41, в цепи параллельного возбуждения — контакторами КЭ-48 и в цепях управления — контакторами КЭ-42 и КЭ-54.

В контроллере ЭКГ-33Б кулачковый барабан приводится во вращение серводвигателем ПЛ-072Д через двухступенчатый редуктор, состоящий из червячной пары и двух цилиндрических шестерен с общим передаточным числом 43,5. Серводвигатель, а следовательно, и кулачковый барабан имеют только одно направление вращения.

Кулачковый барабан имеет 17 позиций; полный угол разворота его с 1-й и по 17-ю позицию составляет 330° .

В контроллере используют 14 кулачковых контакторов КЭ-46 и восемь контакторов КЭ-47, которые служат для выведения пускового и тормозного реостатов и ослабления возбуждения электродвигателей. Переключаются цепи управления 13 кулачковыми контакторами КЭ-42. Для осуществления режима торможения в реостатном контроллере установлено реле времени РОВ и диоды Д5 и Д6.

Основные технические данные групповых реостатных контроллеров приведены в табл. 9.

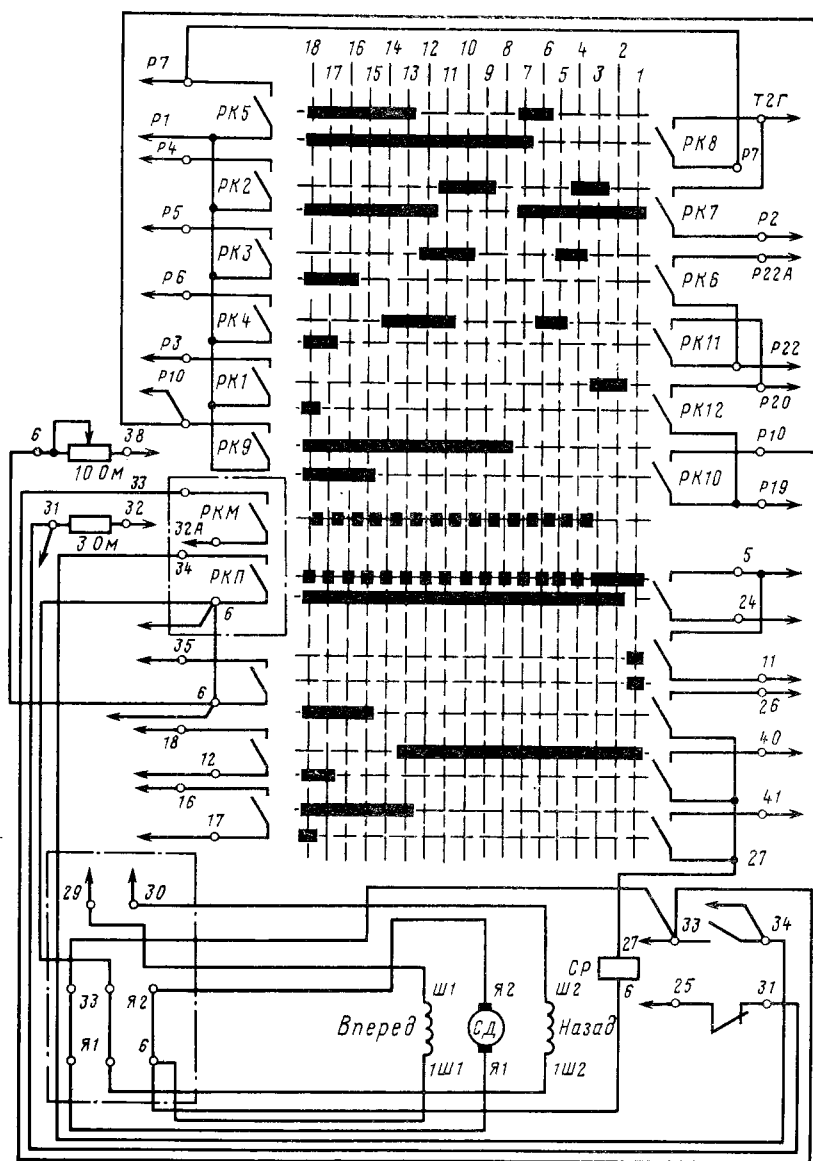


Рис. 47. Монтажная схема группового реостатного контроллера ЭКГ-20Б-1

Основные технические данные серводвигателей групповых реостатных контроллеров следующие:

Тип серводвигателя	ПЛ-072Д	ПЛ-072Е
Напряжение номинальное, В	24	30/50
Ток, А	10	5
Мощность, Вт	150	100
Частота вращения ротора, об/мин	1350	1000
Масса, кг	7,5	7,5

Примечание. Напряжение на коллекторе 30 В, напряжение на обмотке возбуждения 50 В.

20. УСКОРИТЕЛЬ ВАГОНА Т-3

Ускоритель вагона Т-3 представляет собой многопозиционный переключатель клавишного типа, осуществляющий автоматическое выведение пускатормозных реостатов и обеспечивающий плавный пуск и торможение вагона.

Основанием ускорителя служит большой цилиндрический барабан 1 (рис. 48, а), выполненный из изоляционного материала. В нижней части к барабану укреплено чугунное токосъемное кольцо 23 с шестью медными сегментами 24, а в верхней части чугунная плита 15, на которой установлен редуктор 7. С наружной стороны барабана на пружинных держателях 9 и 11 укреплены 95 ленточных элементов реостата 10, изготовленных из сплава (кантала и антоксида), обладающего высоким удельным сопротивлением. Конструкция ленточного элемента представлена на рис. 48, б. Полное сопротивление реостата составляет 3,614 Ом. Верхние держатели 9 элементов крепятся к двум асбоцементным полукольцам 5, нижние — к барабану 1 и снабжены специальными зажимами 3 ленточных элементов.

С внутренней стороны к барабану крепятся 99 контактных пальцев 13 с помощью болтов 12 и держателей 11 элементов. Зазор между пальцем и сегментом токосъемного кольца должен быть в пределах 3—5 мм, а расстояние между смежными пальцами 3,5—4 мм. Пальцы ускорителя, расположенные по одной полуокружности барабана, имеют нечетную нумерацию 1; 3; 5 и т. д. до 99, по другой полуокружности — четную нумерацию 2; 4; 6 и т. д. до 98. К выводам 6 пальцев 1; 2; 75 и 76-го подключены наконечники внешних кабелей 2. Замыкание пальцев с токосъемными сегментами происходит при накатывании на пальцы изоляционных роликов 18, укрепленных на рычагах 17 крестовины 19. Пружинами 20 обеспечивается нажатие роликов на пальцы в пределах 300 ± 30 Н. Поверхность касания пальца с сегментом должна составлять не менее 75% всей поверхности пальца.

Вращение крестовины происходит от электродвигателя РМ ускорителя, связанного с редуктором гибким карданным валом 4, на котором закреплена шестерня редуктора и крестовины 19 ускорителя. Червячный редуктор имеет передаточное число 50,5.

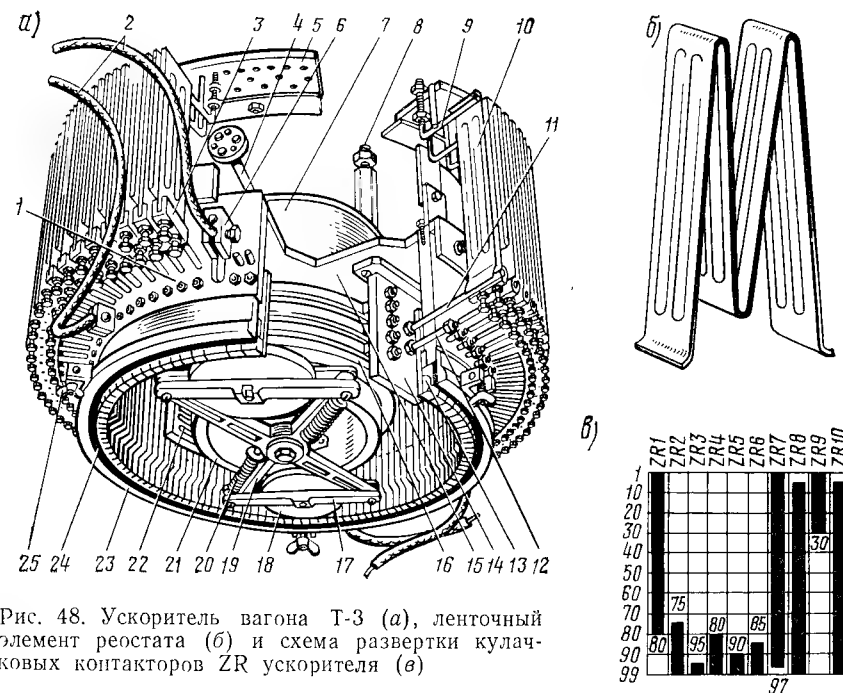


Рис. 48. Ускоритель вагона Т-3 (а), ленточный элемент реостата (б) и схема развертки кулачковых контакторов ZR ускорителя (в)

На крестовине 19 укреплен малый изоляционный барабан 21. На поверхности барабана размещены пять рядов сегментов 16, предназначенных для включения и выключения низковольтных кулачковых контакторов ускорителя ZR1—ZR10. Устанавливаются они на изоляционных панелях 14 и 22 по обе стороны малого изоляционного барабана. Ускоритель снизу закрывают крышкой, которая удерживается тремя барашковыми гайками 25. Включение кулачковых контакторов ZR1—ZR10 происходит при вращении малого барабана и зависит от позиции ускорителя (рис. 48, в).

Крестовина ускорителя может поворачиваться почти на половину оборота (до упора), при этом ее ролики прижимают соответствующие контактные пальцы к токосъемному кольцу. Позиции ускорителя обозначают по номерам прижатых пальцев. Когда первый ролик крестовины замыкает один палец с токосъемным кольцом, второй ролик находится в положении, при котором он прижимает два пальца и наоборот. Поэтому при вращении крестовины чередуются нажатия четных и нечетных пальцев; таким образом ускоритель имеет позиции от 1-й до 99-й.

В начале пуска вагона ускоритель находится на 1-й позиции. Ток идет на вывод, соединенный с 75-м пальцем (рис. 49, а), по нечетным элементам реостата до 1-го пальца, прижатого к токосъемному кольцу, далее по токосъемному кольцу до 2-го пальца, затем по четным элементам реостата на вывод 76-го пальца. Крестовина ускорителя, вращаясь в направлении от 1-й к 99-й позиции

по мере увеличения скорости вагона прижимает к токосъемному кольцу поочередно 3, 4, 5-й (и т. д.) пальцы, выводя пусковой реостат из цепи тягового электродвигателя (рис. 49, б). На 75-й позиции ток по ускорителю идет, минуя реостат, с 75-го пальца по токосъемному кольцу на 76-й палец.

При электрическом торможении ток по реостату ускорителя идет в обратном направлении: на вывод 2-го пальца (рис. 49, в) по четным элементам реостата до прижатого к токосъемному кольцу пальца (при большой скорости движения вагона замкнуты 98-й и 99-й пальцы), по токосъемному кольцу через замкнутый нечетный палец, по нечетным элементам реостата на вывод 1-го пальца. По мере уменьшения скорости вагона двигатель ускорителя РМ вращает крестовину в направлении от 99-й к 1-й позиции (рис. 49, г), вследствие чего тормозной реостат выводится. При выбеге вагона ускоритель работает так же, как и при торможении, но крестовина вращается с меньшей скоростью.

В реостате ускорителя при работе выделяется большое количество тепла, поэтому для предупреждения перегрева и деформации элементов реостата ускоритель непрерывно обдувается воздухом, подаваемом вентиляторами двигателя-генератора. В холодное время нагретый ускорителем воздух направляется по каналам вдоль правого борта кузова в салон вагона, а в теплое время выбрасывается в атмосферу.

Ускоритель имеет массу 180 кг. Он подвешивается на трех шпильках 8 (см. рис. 48) под кузовом в средней части вагона в специальном отсеке, закрываемом двумя крышками снизу и съемным люком в полу вагона.

На вагонах Т-3 последнего выпуска устанавливают ускорители, не имеющие большого изоляционного барабана. Крепят элементы реостата на стальном кольце с помощью фарфоровых изоляторов.

21. РЕВЕРСИВНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ

Переключатель, посредством которого изменяют направление тока в обмотках якорей или в обмотках возбуждения тяговых электродвигателей, называется реверсором. В результате этого изменяется направление вращения двигателей и, следовательно, направление движения вагона. В реверсорах, применяемых на трамвайных вагонах РВЗ-6М-2 и КТМ-5М-3, предусматривается изменение направления тока в цепях якорей тяговых двигателей, а на трамвайном вагоне Т-3 — в цепях обмоток возбуждения тяговых двигателей.

На трамвайных вагонах РВЗ-6М-2 установлен электропневматический реверсор ПР-759В, на КТМ-5М-3 — электромагнитный реверсор МР-4А-2, реверсивный переключатель РЗ (КСР-15) трамвайного вагона Т-3 имеет ручной привод.

Реверсор ПР-759В состоит из корпуса, в боковинах 10 (рис. 50, а) которого на подшипниках установлен вал 7 с кулачковыми шайбами 9. Подшипники закрыты крышками 1. С обеих сторон вала на рейках 4 смонтированы кулачковые контакторы 6 и 8: восемь контакторов КЭ-47, выполняющих переключения в силовой цепи изменением направления тока в обмотках якорей тяговых двигателей, и четыре контактора КЭ-42А, предназначенных для переключений в цепях управления.

Реверсор имеет два фиксированных положения «Вперед» и «Назад». Перевод его в одно из рабочих положений осуществляется пневматическим приводом 3, управляемым двумя вентилями 5, или с помощью реверсивной рукоятки контроллера управления, для нее на конце вала предусмотрена головка 2. Перевод реверсора возможен только при выключенной силовой цепи. Это обеспечивается электрической блокировкой в самом реверсоре и механической блокировкой контроллера управления. Схема электропневматического реверсора ПР-759В показана на рис. 50, б.

Пневматический привод реверсора состоит из цилиндра, штока с двумя поршнями и двух электромагнитных вентилях включающего типа. При возбуждении левого вентиля поршни передвигаются слева направо до упора, а кулачковый вал поворачивается по часовой стрелке. В случае возбуждения правого вентиля привод возвращается назад, а кулачковый вал поворачивается против часовой стрелки.

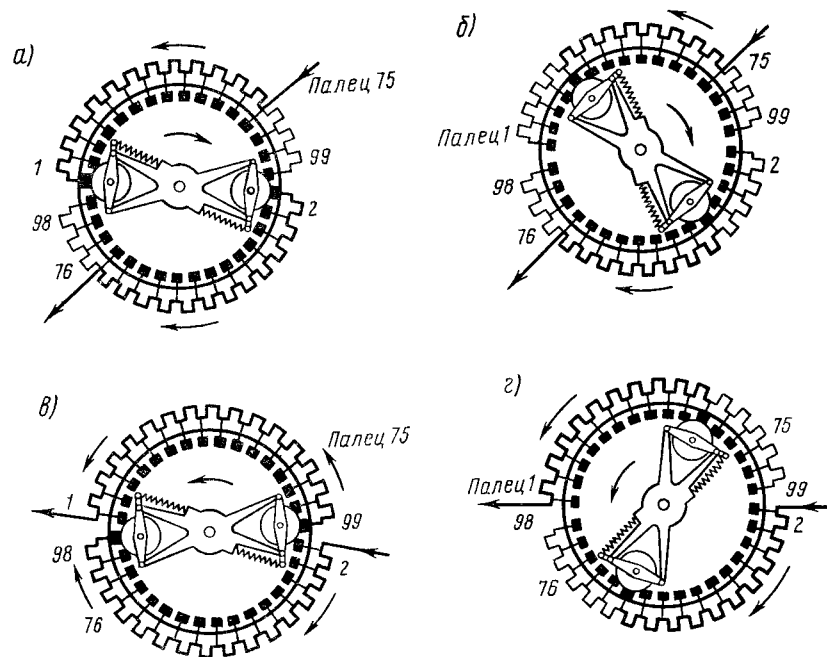


Рис. 49. Схема прохождения тока в цепи на позициях ускорителя в начале пуска (а), при разгоне (б), в начале торможения (в), при торможении (г)

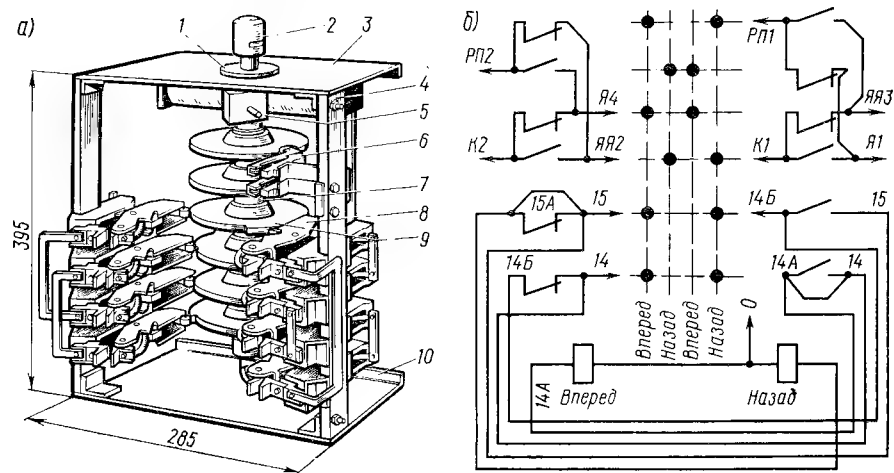


Рис. 50. Общий вид (а) и монтажная схема (б) электропневматического реверсора ПР-759В-2

Реверсор МР-4А-2 в отличие от реверсора ПР-759В имеет электромагнитный привод на два положения «Вперед» и «Назад». Кулачковый барабан реверсора установлен в силуминовых боковинах, связанных двумя несущими угольниками. Кулачковые шайбы при вращении барабана приводят в действие 12 кулачковых контакторов. Переключения в цепи якоря тягового двигателя осуществляются восемью кулачковыми контакторами КЭ-47, в цепях управления — четырьмя кулачковыми контакторами КЭ-42.

22. ОТКЛЮЧАТЕЛИ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Отключатели тяговых двигателей применяют на трамвайных вагонах и используют в аварийных случаях для отключения поврежденной группы тяговых двигателей. В этом случае вагон может работать на одной исправной группе двигателей и продолжать движение для следования в депо. На современных трамвайных вагонах установлены отключатели барабанного типа с ручным приводом. Отключатель имеет три фиксированных положения: нормальный режим работы двигателей, когда работают все двигатели, и два аварийных режима на I и на II группе двигателей.

На трамвайном вагоне РВЗ-6М-2 применяют отключатель тяговых двигателей ОМ-23А, на вагонах ЛМ-68 и КТМ-5М-3 — отключатель ОМ-23Б (на вагонах КТМ-5М-3 их практически не ставят). Рассмотрим отключатель тяговых двигателей ОМ-23Б. Он имеет контактную часть барабанной конструкции. Барабан 5 состоит из четырехгранной оси, на которую насажены прессованные

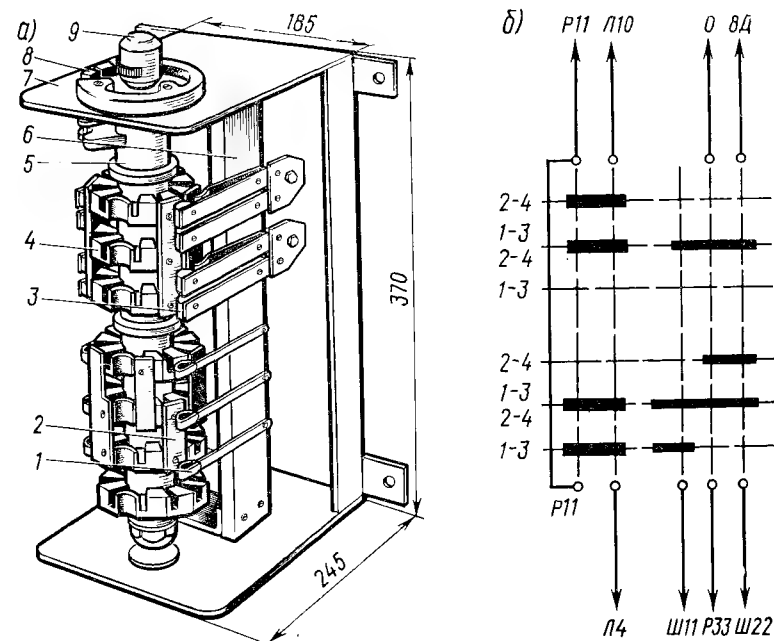


Рис. 51. Общий вид (а) и монтажная схема (б) отключателя двигателей ОМ-23Б

пластмассовые шайбы 4 (рис. 51, а). В гнездах шайб закреплены сегменты 2. Барабан вращается в подшипниках скольжения, запрессованных во фланцы 8 боковин 7. На изоляционных рейках 6 закреплены пальцы отключателя. Палец силовой цепи состоит из медного сухаря 3, закрепленного на пластинчатой пружине и связанного с выводом. Западание пальцев в выключенном положении регулируется скобой. Контактные пальцы 1 производят переключения в цепи параллельного возбуждения. На конце оси закреплена головка 9 с пазами под рукоятку. Переключения осуществляются реверсивной рукояткой контроллера управления и фиксируются храповиком. Схема отключателя тяговых двигателей ОМ-23Б показана на рис. 51, б.

Технические данные контактов отключателей ОМ-23А и ОМ-23Б тяговых двигателей следующие:

Тип отключателя	ОМ-23А	ОМ-23Б
Контакты:		
провал, мм	2-3/2-3	2-3/2-3
нажатие, Н	16-30/10-25	20-30/10-25
Ток длительный, А	100×2/10	100/15
Напряжение, В	550/550	550/550
Число пальцев	4/8	4/6
Масса, кг	15,5/15,5	15,5/15,5

Примечание. В числителе данные для силовых контактов, в знаменателе — для вспомогательных.

Надежная работа групповых электрических аппаратов в первую очередь зависит от состояния контактных поверхностей и значения контактного нажатия. При уменьшении контактного нажатия увеличивается переходное сопротивление, а это приводит к нагреванию контактов и выходу их из строя. Раствор между контактами, контактное нажатие и состояние контактных поверхностей должны соответствовать техническим требованиям. Кулачковые контакторы должны четко включаться и отключаться на позициях в соответствии с диаграммой (не должно быть кулачковых контакторов с неполностью включенными или выключенными контактами). Капли металла или оплавления с рабочей поверхности контактов удаляют напильником с мелкой насечкой, после чего проверяют правильность касания контактов, которое должно быть не менее 75% их ширины (или поверхности касания). Необходимо проверять исправность гибких шунтов.

Ролики кулачковых контакторов должны свободно вращаться на осях. При заклинивании или затрудненном вращении тщательно промывают осевой узел. В замкнутом положении кулачкового контактора ролик не касается кулачковой шайбы. Недопустима работа кулачкового контактора, у которого замкнута часть витков дугогасительной катушки. Следует осматривать дугогасительную камеру и удалять капли металла с ее внутренней поверхности.

Все резьбовые соединения должны быть плотно затянуты. Ослабление крепления шпилек и реек, соединяющих боковины каркаса, может привести к нарушению очередности включения кулачковых контакторов.

Особое внимание обращают на пневматические и электродвигательные приводы, регулярно проверяя время свободного (хронометрического) вращения главного барабана. Время вращения барабана с электропневматическим приводом регулируют изменением подачи воздуха. Частоту вращения сервопривода регулируют с помощью резисторов, включенных в цепь якоря серводвигателя.

Работа фиксирующих и блокирующих механизмов, связывающих ходовой и реверсивный барабаны, должна быть четкой и безотказной. Необходимо проверять состояние кабельных зажимов заземления и надежность их крепления.

В контроллере КТД-2 следует обращать внимание на исправность электромагнитной порошковой муфты, периодически проверять уровень масла в ее кожухе. В случае попадания масла в муфту ее необходимо демонтировать, промыть бензином и заменить уплотнение. Затем, собрав муфту, заполнить ее карбонильным порошком (16 г) через отверстие в верхней части кожуха и залить трансформаторным маслом до заданного уровня. После заполнения кожуха муфты ее не следует наклонять, так как при этом карбонильный порошок может попасть в подшипники. Собранную муфту следует отрегулировать: ток, блокирующий вращение ходового барабана, составляет 330 А, отпускающий — 260 А.

24. РЕЛЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПУСКА И ТОРМОЖЕНИЯ

Общие сведения. Автоматический пуск, торможение, а также защиту электрооборудования от нарушений режимов работы выполняют электромагнитные реле. Они осуществляют переключения в цепях управления, срабатывая при определенных параметрах, на которые они настроены. Назначение реле в схемах разнообразно. Реле классифицируют по роду контролируемой величины: на реле тока, напряжения, времени, ускорения и по направлению изменения параметра цепи: на реле минимальные и максимальные.

Важной характеристикой электромагнитного реле является коэффициент возврата, который определяется отношением намагничивающей силы отпадания якоря к намагничивающей силе притяжения якоря. Реле с низким коэффициентом возврата (до 0,5 - 0,6) выполняют с малым воздушным зазором, реле с коэффициентом возврата в пределах 0,6—0,85 — с большим воздушным зазором. Реле с более высоким коэффициентом возврата изготовляют плунжерного или электродинамического типа с малым разрывом и нажатием контактов. Для уменьшения сил трения якорь и регулировочную пружину реле устанавливают на призматической опоре.

При настройке реле вначале регулируют воздушные зазоры между якорем и сердечником магнитопровода. Намагничивающая сила срабатывания реле меняется в зависимости от начального зазора, а намагничивающая сила отпадания якоря реле зависит от конечного зазора. Изменяют регулируемую величину с помощью калиброванной регулировочной пружины. Для регулирования установки реле в зависимости от изменения какого-либо параметра, например положения педали контроллера управления или напряжения в контактной сети, используют дополнительную (регулируемую) катушку, которую устанавливают на сердечнике реле.

В большинстве случаев в схемах автоматического управления подвижным составом городского электротранспорта применяют реле с закрытой магнитной цепью — реле клапанного типа.

Реле автоматического пуска. Для регулирования скорости введения пусковых и тормозных реостатов, т. е. ускорения или замедления, служат реле автоматического пуска. Эти реле должны быть быстродействующими, иметь большой коэффициент возврата и обладать большой стабильностью намагничивающей силы при отпадании якоря.

К реле автоматического пуска относится реле Р-41, применяемое на вагоне РВЗ-6М-3, на троллейбусе ЗиУ-9 и трамвайном вагоне КТМ-5М-3 применяют реле Р-52Б; ограничительное реле РГ-11 используют на трамвайном вагоне Т-3.

Реле Р-41Г плунжерного типа. Детали реле монтируют на изоляционном основании (рис. 52). На оси 16 литой стойки 18 в конусных цапфах установлен якорь. Он выполнен из двух боковин 13, к которым крепится набранный из изолированной электротехнической стали сердечник 14 (плунжер), подвижной контакт 12, регулировочная пружина 2 и противовес 17. Неподвижные контакты 10 и 11 установлены на изоляционных планках 3 и 19, прикрепленных к стойке 18. Все контакты выполнены с серебряными напайками. На сердечнике 7 установлены две регулировочные катушки 6, имеющие выводы 4 и 20, а над ними — силовая катушка 15 с выводами 5. Она изготовлена из шинной меди и укреплена к основанию 8 с помощью шпилек 9 и изоляционных накладок. Внутри катушки помещен изоляционный цилиндр. При прохождении определенного тока по силовой катушке сердечник втягивается в нее, замыкая контакты реле.

Ток уставки реле (т. е. ток, при котором срабатывает реле) изменяется в зависимости от режима работы тяговых двигателей и положений контроллера управления. На ходовом положении Х2 ток уставки 150—180 А; на положении Х3 — 180—220 А; на положении Х4 — 270—300 А. При торможении на положении контрол-

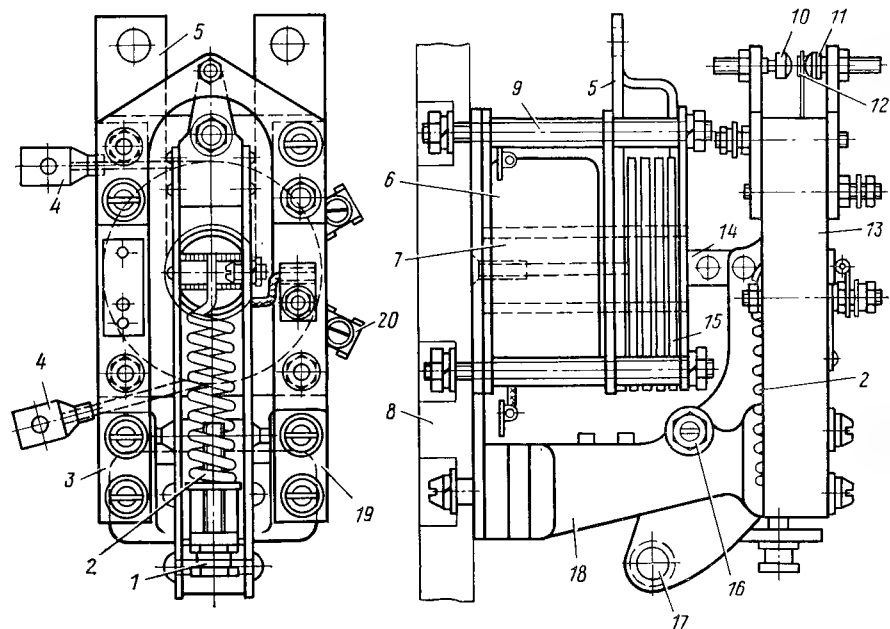


Рис. 52. Реле ускорения и торможения РУТ типа Р-41Г

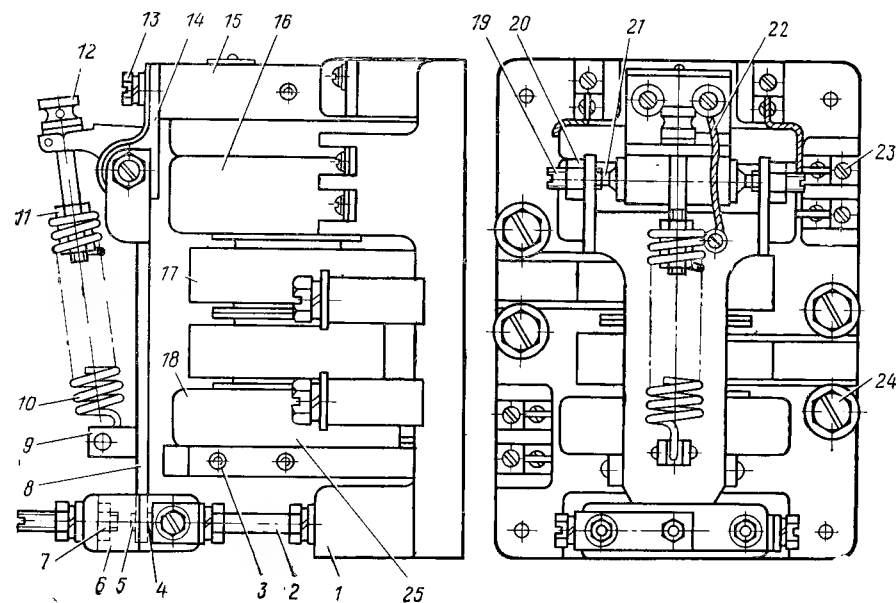


Рис. 53. Реле ускорения Р-52Б-3

лера Т1 ток уставки 150—180 А; на положении Т2 — 170—200 А, на положении Т3 — 280—300 А. Ток уставки регулируется изменением натяжения пружины 2 с помощью винта 1.

Реле ускорения Р-52Б-3 имеет блочную конструкцию. На изоляционном основании 1 (рис. 53) укреплены стальная стойка 15 и скоба 3 из немагнитного материала. В скобе заклепками укреплен пакет стали. Между стойкой и скобой имеется шихтованный сердечник 25, на котором размещены три катушки. Силовая катушка 17 включена в цепь тягового электродвигателя; регулировочная катушка 18 и подмагничивающая катушка 16, обеспечивающая четкое срабатывание реле, включены в цепь управления. На стойке 15 болтом 13 закреплен кронштейн 14 с опорой 19 вращения якоря и осью 21. Якорь 8 под действием регулировочной пружины 10 оттянут от сердечника реле. Регулировочная пружина одним концом прикреплена к скобе 9 якоря, а другим — к кронштейну стойки с помощью пружинодержателя 11 и регулировочного винта 12. Реле ускорения имеет по одному замыкающему 7 и размыкающему 4 контакту. Неподвижные контакты закреплены на пластмассовом изоляторе 6, который двумя шпильками 2 укреплен на изоляционном основании. Подвижные контакты 5 припаяны к якорю и соединены с выводным зажимом гибким шунтом 22. Все контакты (подвижные и неподвижные) серебряные и включены в цепь якоря серводвигателя. Концы силовой катушки выведены на силовые зажимы 24, а катушки управления — на колодку с выводами 23.

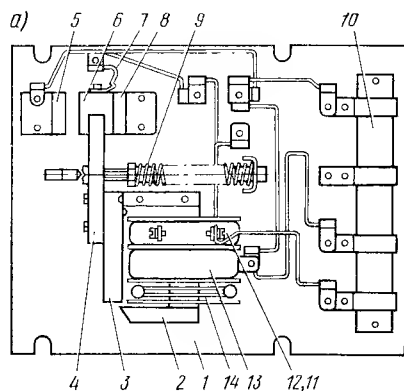
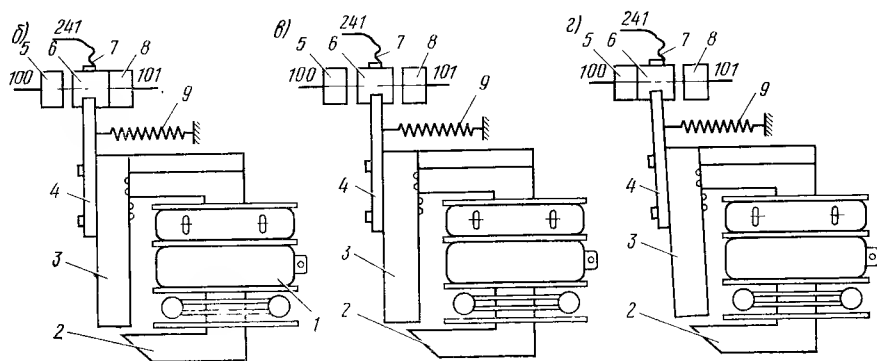


Рис. 54. Общий вид (а) и различные положения контактов (б, в и г) ограничительного реле вагона Т-3 при работе



Силовая катушка реле *РУ1* создает основной магнитный поток, определяемый током силовой цепи тягового двигателя. Регулирующая катушка *РУ2* включена в цепь управления, по ней идет ток только на маневровом и первом ходовом положениях контроллера управления. Эта катушка предназначена для уменьшения тока срабатывания реле на первом ходовом положении, так как магнитный поток регулировочной катушки *РУ2*, складываясь с магнитным потоком силовой катушки *РУ1*, ограничивает пусковой ток в цепи тягового двигателя. Катушка управления *РУ3* обеспечивает остановку группового реостатного контроллера только на позициях. По катушке *РУ3* идет ток в тот момент, когда кулачковый вал реостатного контроллера находится между позициями и размыкающий контакт реле разомкнут.

Реле имеет малонасыщенную магнитную систему, что обеспечивает высокий коэффициент возврата. Регулируют ток срабатывания реле ускорения винтом 12, изменяющим натяжение регулировочной пружины 10, а также изменением раствора контактов и воздушного зазора между якорем и сердечником.

Ограничительное реле *RG-11* предназначено для управления двигателем ускорителя. Детали реле монтируют на тексто-

литовой панели 1 (рис. 54, а). На П-образном сердечнике 2 размещены четыре катушки: *OR* — силовая катушка 14 выполнена из двух витков медной шины сечением 50 мм² и включена в цепь 3 и 4 тяговых электродвигателей (см. рис. 101); *RC* — регулировочная катушка 13 (см. рис. 54, а) включена в цепь низкого напряжения; *CP* — катушка подготовки 12 включена параллельно обмоткам возбуждения тяговых двигателей и получает питание при выбеге и торможении вагона; *PC* — прерывающая катушка 11 включена в цепь контактов ограничительного реле. К якорию 3 на текстолитовом держателе 4 укреплен угольный подвижной контакт 6, снабженный шунтом 7 для отвода тока от контакта. Неподвижные контакты 5 и 8 выполнены серебряными. Подвижной угольный контакт 6 под усилием регулировочной пружины 9 замкнут с неподвижным контактом 8.

Силовая катушка *OR* служит для создания основного магнитного потока, который притягивает якорь реле. Если ток по другим катушкам ограничительного реле не идет, то якорь реле притягивается к сердечнику при токе, идущем по силовой катушке, равном 480—500 А.

Регулировочная катушка *RC* служит для создания дополнительного магнитного потока, действующего согласно с основным магнитным потоком, созданным силовой катушкой *OR*. При наличии тока в регулировочной катушке якорь ограничительного реле притянется при меньшем токе силовой цепи. Перемещая ходовую или тормозную педаль контроллера управления на разный угол, осуществляют включение регулировочной катушки *RC* на разное напряжение (24; 16; 12; 8 В или 0), получаемое от делителя напряжения — потенциометра 10. При этом ток уставки изменяется от 100 до 250 А, при нажатии ходовой педали и от 67 до 178 А при нажатии тормозной педали.

Катушка подготовки *CP* создает дополнительный магнитный поток в режиме выбега, когда необходимо уменьшить ток силовой цепи до 30—60 А. В тормозном режиме тяговых двигателей в цепь катушки подготовки *CP* вводится регулируемый резистор *RCP* и магнитный поток катушки *CP* уменьшается. При этом обеспечивается нормальный тормозной ток в силовой цепи.

Прерывающая катушка *PC* увеличивает чувствительность реле, создавая дополнительный магнитный поток при относительно большом воздушном зазоре между сердечником и якорем, а при уменьшении этого зазора катушка отключена. В результате уменьшается разность токов, при которых притягивается якорь реле к сердечнику и отпадает. Контакты *OR* ограничительного реле включены в цепь двигателя ускорителя *PM* (двигателя управления).

Действие ограничительного реле заключается в следующем: ток, проходя по обмоткам реле, намагничивает сердечник. При достижении тока в силовой цепи двигателей значения уставки ограничительного реле якорь реле притянется к сердечнику и подвижной контакт 6 разомкнется с неподвижным контактом 8, разрывая цепь питания двигателя управления *PM* (рис. 54, в). С уменьшением

тока в силовой цепи магнитный поток силовой катушки ОР уменьшится и подвижной контакт 6 замкнется с неподвижным контактом 8 под действием пружины 9 (рис. 54, б). Якорь двигателя управления получит питание и будет вращать крестовину ускорителя в направлении выведения пускового (тормозного) реостата из цепи тяговых электродвигателей. Затем процесс повторится.

В рабочем режиме якорь ограничительного реле вибрирует, периодически замыкая и размыкая цепь двигателя управления РМ, тем самым воздействует на ускоритель, поддерживая неизменный ток в силовой цепи, равный току уставки реле при пуске или торможении, согласно выбранному водителем режиму движения вагона.

В случае если ток в силовой цепи окажется больше тока уставки реле (например, при выбеге с ускорением или при частичном возвращении педали), якорь реле притянется к сердечнику настолько, что замкнет подвижной контакт 6 с неподвижным контактом 5 (рис. 54, г). При этом изменится направление тока в якоре двигателя управления РМ и якорь будет вращаться в обратном направлении, поворачивая крестовину ускорителя в сторону введения реостатов в цепь тяговых двигателей, пока ток в силовой цепи уменьшится до тока уставки ограничительного реле.

25. РЕЛЕ УПРАВЛЕНИЯ

Реле управления предназначены для автоматического управления работой электрических схем подвижного состава трамвая и троллейбуса. Назначение реле в электрических схемах разнообразно. Различаются реле и по их конструкции. На современном подвижном составе городского электрического транспорта отечественного производства в качестве реле управления различного назначения применяют в основном реле постоянного тока серии РЭВ-800 (рис. 55). Их изготавливают с втягивающими катушками на номинальное напряжение 24; 48; 110 и 220 В (потребляемая мощность втягивающей катушки не более 25 Вт), а также с втягивающими катушками на номинальный ток от 0,6 до 630 А. Конструктивно реле этой серии могут выполняться с двумя контактами (один замыкающий и один размыкающий) или с четырьмя контактами (два замыкающих и два размыкающих контакта). Контакты реле представляют собой узел, позволяющий в эксплуатации подбором одних и тех же деталей получить любой набор контактов (сделать контакты замыкающими или размыкающими). Регулировку растворов и провалов контактов после их переброски следует осуществлять перемещением контактных планок. Точность срабатывания реле РЭВ-800 составляет $\pm 10\%$. Реле имеют блочную конструкцию, позволяющую собирать и регулировать их до установки на панель. В контактной панели реле (см. рис. 55) крепят с помощью шпильки. На ярме 1 магнитопровода и сердечнике 5 имеются съемные демпферы 21 и 2. На демпфере сердечника установ-

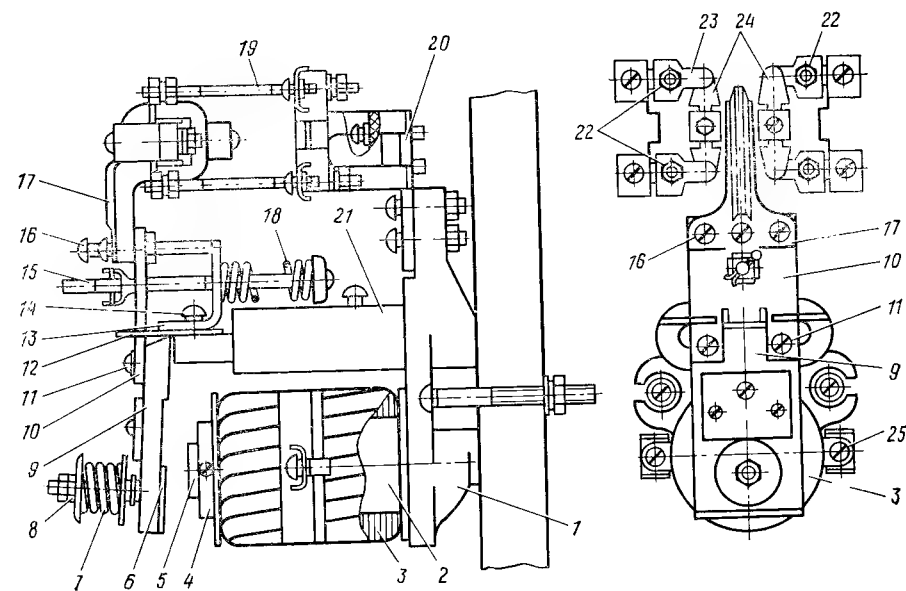


Рис. 55. Реле серии РЭВ-800 (РЭВ-811, РЭВ-816, РЭВ-821)

лена катушка 3, фиксируемая кольцом 4. Катушка 3 включается в цепь управления. Выводы 25 катушки служат для присоединения проводов цепи управления. К ядру винтами 14 крепят угольник 13 и пластину 12, образующую с торцевой частью ядра призматическую опору якоря 9. Подвижной якорь оттягивается от сердечника 5 пружиной 18, натяжение которой регулируется гайкой 15. На якоре винтами 11 укреплена скоба 10, несущая изоляционную колодку 17 с подвижными контактами 24 мостикового типа, снабженными контактными пружинами. Неподвижные контакты 22 укреплены на шпильках 19. Реле имеет один замыкающий 24 и один размыкающий 23 контакты. На рис. 55: 7 — пружина; 8 — регулировочная гайка; 20 — плата на магнитопроводе.

Реле времени предназначено для включения или выключения электрических цепей с некоторой выдержкой времени, достаточной для сбора электрических схем, срабатывания определенных аппаратов или выбора люфтов в механических передачах. Выдержка времени между моментом включения катушки реле и замыканием его контактов, а также между моментом выключения катушки реле и размыканием его контактов достигается применением медных или алюминиевых демпферов, которые устанавливают на ярме и сердечнике магнитопровода реле.

Во время подачи питания на катушку реле в медном или алюминиевом цилиндре (демпфере) вследствие взаимной индукции индуцируются вихревые токи, препятствующие увеличению магнит-

ного потока реле. В результате этого якорь притягивается к сердечнику не мгновенно после включения катушки реле, а с некоторой выдержкой времени. После отключения катушки в цилиндре в течение некоторого времени также будет циркулировать ток, наводимый спадающим магнитным потоком и препятствующий уменьшению магнитного потока реле. Поэтому якорь отпадает от сердечника также с некоторой выдержкой времени.

В качестве реле времени на троллейбусах и трамвайных вагонах КТМ-5М-3 применяют реле РЭВ-811 (см. рис. 55).

При регулировании выдержки времени вначале выполняют приблизительную настройку реле подбором немагнитных прокладок 6, укрепленных на якоре и препятствующих его залипанию при отключении катушки. Затем осуществляют более точную регулировку изменением натяжения регулировочной пружины 18. После этого проверяют напряжение включения реле и регулируют его изменением зазора между якорем и сердечником с помощью упорного винта 16. Реле времени должно четко срабатывать при напряжении 14 В. Выдержка времени на включение и выключение должна быть в пределах 0,7—0,8 с. С увеличением толщины немагнитных прокладок уменьшается выдержка и увеличивается напряжение отпадания якоря реле от сердечника. С увеличением натяжения регулировочной пружины уменьшается выдержка времени и увеличивается напряжение притягивания и отпадания якоря реле.

Реле выбега предназначено для выбора режима пуска при полном или ослабленном параллельном возбуждении при переходе с выбега на ходовые позиции (для снятия рекуперативного подтормаживания при повторных пусах).

Для электрического подвижного состава городского транспорта характерно движение с частыми переходами с одного режима работы на другой, например, от тягового режима на выбег, с выбега на повторный пуск. При тяговых электродвигателях последовательного возбуждения поворотный пуск движущегося подвижного состава можно осуществить так же, как и пуск с остановки. Для тяговых двигателей смешанного возбуждения повторный автоматический пуск движущегося с большой скоростью подвижного состава необходимо выполнять при ослабленном возбуждении, чтобы э. д. с. двигателя была бы меньше напряжения контактной сети, т. е. чтобы исключить нежелательное при пуске рекуперативное торможение.

В качестве реле выбега на трамвайном вагоне РВЗ-6М-2 применяют реле РЭВ-821. Конструкция этого реле подобна ранее рассмотренному реле РЭВ-800 (см. рис. 55).

Реле выбега подключается параллельно пусковому реостату через потенциометр по дифференциальной схеме между контактной сетью и тяговыми двигателями. В схему реле введены диоды Д-204, пропускающие ток только в направлении двигательного режима. Катушка реле рассчитана на номинальное напряжение 110 В. Реле имеет замыкающие и размыкающие контакты. Причем при при-

менении реле РЭВ-821 в качестве реле выбега используются лишь замыкающие контакты. Их вводят в цепь втягивающей катушки контактора, шунтирующего регулировочный реостат параллельного возбуждения двигателей. Ток срабатывания реле 0,11—0,14 А, ток отпадания 0,016—0,047 А. Ток срабатывания реле регулируют гайкой 15, которой изменяют усилие пружины 18. После регулировки гайка фиксируется шплинтом.

Реле баланса предназначено для включения системы (главным образом при повторных пусах) непосредственно на напряжение контактной сети, когда разность напряжений между сетью и контактами тяговых двигателей будет минимальной (50—80 В). Таким образом, сокращается время повторного реостатного пуска.

На трамвайном вагоне РВЗ-6М-2 в качестве реле баланса применяют реле РЭВ-821 (см. рис. 55). Катушка реле включена через добавочный резистор на разность напряжений контактной сети и тяговых двигателей. Если при большой скорости повторного пуска реле выбега не сработает, то при определенной минимальной разности напряжений контактной сети и тяговых двигателей якорь реле баланса отпадет и включит линейный контактор, который шунтирует пусковой реостат. Реле баланса регулируют на ток срабатывания 0,049—0,055 А и ток отпадания 0,006—0,01 А.

Реле торможения (реле минимального тока) предусмотрено для замены электрического реостатного торможения пневматическим (на вагоне РВЗ-6М-2) или соленоидным торможением (на вагоне КТМ-5М-3) при истощении электрического торможения. Механическое торможение автоматически замещает реостатное торможение также в тех случаях, когда при неисправности в схеме не появляется тормозной ток и не срабатывает тормозное реле (реле минимального тока).

В качестве тормозного реле на трамвайном вагоне РВЗ-6М-2 применяют реле РЭВ-830 (см. рис. 55). Это реле не имеет демпферов и катушка его выполнена из медной проволоки прямоугольного сечения.

На вагоне КТМ-5М-3 в качестве реле минимального тока используют реле Р-53А. Катушки этих реле включены в тормозную цепь тяговых двигателей. Реле РЭВ-830 регулируют на ток срабатывания 100—120 А и ток отпадания 50—70 А; реле Р-53А — на ток срабатывания 130 А и ток отпадания 100 А. При уменьшении тормозного тока в цепи тяговых двигателей до тока отпадания якоря блок-контакты реле в схеме управления вагона РВЗ-6М-2 отключают цепь питания вентиля замещения торможения ВТ, который включает в действие пневматическое торможение. На вагоне КТМ-5М-3 при срабатывании реле минимального тока включаются катушки соленоидных тормозов и вступает в действие механическое торможение.

Реле блокировки тормозов RA-221/LO установлено на трамвайном вагоне Т-3 для включения барабанного (соленоидного) торможения при истощении или несрабатывании реостатного торможения. Особенностью этого реле является наличие двух катушек на

одном сердечнике. Силовая катушка реле LO включена в тормозной контур тяговых электродвигателей и по ней идет тормозной ток тяговых двигателей в период реостатного торможения, т. е. при нажатой тормозной педали. Вторая катушка реле LO включена в цепь управления и по ней ток идет при отпущенной тормозной педали. В этом случае якорь блокировочного реле магнитным потоком катушки LO притянут к сердечнику, а контакты LO замыкают цепи катушек контакторов BR1, BR2, которые включают питание соленоидов барабанных тормозов от генератора G. При электрическом реостатном торможении, которое происходит при нажатии тормозной педали, катушка LO выключается, но якорь блокировочного реле остается притянутым к сердечнику магнитным потоком силовой катушки LO при прохождении по ней тормозного тока тяговых двигателей. В случае снижения скорости вагона до 4 км/ч ток в тормозном контуре становится меньше 120 А, что недостаточно для удержания якоря реле в притянутом состоянии. Тогда размыкаются контакты LO в цепях катушек BR1 и BR2, соленоиды обесточиваются и вступает в действие колодочное торможение.

Реле экстренной остановки PC1 и KPT2 (тип РЭВ-821) предназначено для отключения силовой цепи вагона КТМ-5М-3 и включения соленоидных и рельсовых тормозов и песочниц при повороте рукоятки стоп-крана или при отпуске педали безопасности ПБ.

Реле безопасности RA-448 на трамвайном вагоне Т-3 служит для отключения линейного контактора и включения барабанного и рельсового тормозов и звуковой сигнализации при отпуске водителем педали безопасности или при разрыве поезда, работающего по системе многих единиц, а также при нажатии кнопки экстренного торможения в салоне вагона. Реле безопасности имеет две катушки — включающую RBZ и выключающую RBV, их намагничивающие силы направлены встречно. При включении цепи управления вагона катушка RBZ включает реле безопасности. Замыкающие контакты реле RB включают цепи питания катушек контакторов колодочных тормозов BR1 и BR2 и катушки линейного контактора LS, чем обеспечивается возможность растормаживания барабанных тормозов вагона и осуществление пуска тяговых двигателей. Размыкающие контакты реле RB отключают цепи рельсовых тормозов и звонка.

При отпуске педали безопасности во время движения вагона или при нажатии кнопки экстренного торможения ZS реле безопасности отключается, разрывая цепь питания линейного контактора LS, включаются барабанные и рельсовые тормоза и подается звуковой сигнал. Отпустить педаль безопасности водитель может, только предварительно поставив тормозную педаль в стояночное положение (на защелку). В случае разрыва поезда, работающего по системе многих единиц, на втором вагоне прекращается питание включающей катушки реле RBZ, что приводит к отключению линейного контактора на втором вагоне и срабатыванию барабанного тормоза.

110

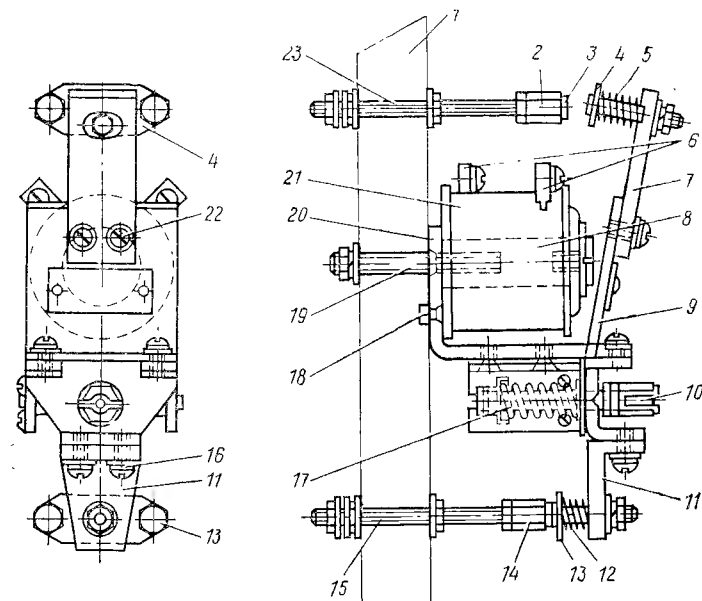


Рис. 56. Реле РМ-3000

Тормозное реле RP47D (на рис. 78 реле 005) служит для ограничения напряжения на якоре тягового двигателя троллейбуса 9Тр при электрическом торможении на больших скоростях. Оно срабатывает при напряжении на двигателе 300 В. Катушка реле 005 (см. рис. 78) через резистор сопротивлением 15 кОм включена в силовую цепь параллельно тормозному реостату. Замыкающие контакты реле 005 включены в цепь втягивающей катушки контактора 026 (см. рис. 79). Если при электрическом торможении на большой скорости троллейбуса напряжение на двигателе, работающем в режиме генератора, превысит 300 В, то контакты реле 005 замкнутся и включится контактор 026, при этом обмотка возбуждения тягового двигателя шунтируется секциями реостата (см. рис. 78). Возбуждение двигателя уменьшится и, следовательно, понизится напряжение на двигателе и тормозное усилие.

Реверсивное реле РЭВ-825 предусматривается для изменения направления тока в подмагничивающей катушке РУТ_{под} реле ускорения и замедления для согласованного действия ее с силовыми (последовательными) катушками при пуске и торможении вагона.

Стоп-реле РМ-3000 предназначено для остановки серводвигателя, являющегося приводом группового реостатного контроллера, на фиксированных позициях. Реле собирают и регулируют на контакторной панели 1: ярмо 20 (рис. 56) с прикрепленным сердечником 8 укреплено с помощью шпильки 19 и фиксирующего уступа 18, входящего в специальное углубление на панели. Замыкающие

111

и размыкающие контакты реле крепят к панели с помощью шпилек 15 и 23, на которые навинчены гайки 2 и 14 и к ним припаяны неподвижные серебряные контакты 3. Подвижные контакты припаяны к мостикам 4 и 13, которые перемещаются по направляющим изоляционных планок 7 и 11, укрепленных на якоре 9. Нажатие подвижного контакта на неподвижный осуществляется контактными пружинами 5 и 12. Втягивающая катушка 21 выполнена из медного изолированного провода с большим числом витков, 6 — выводы катушки. Якорь 9 вращается на призматической опоре ярма, он притягивается к сердечнику 8 при возбуждении втягивающей катушки, отпадает под действием пружины 17, когда отключается питание катушки 21. Натяжение пружины 17 осуществляется регулировочной гайкой 10 (на рис. 56 16 и 22 — винты).

26. АППАРАТЫ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ

Для предотвращения отклонений от нормальных режимов, которые могут возникнуть при эксплуатации трамвайных вагонов и троллейбусов и вызвать повреждение электродвигателей и аппаратуры, в электрических схемах предусмотрены специальные защитные аппараты: автоматический выключатель, реле перегрузки, реле напряжения, реле минимального тока, дифференциальное реле и другие, а также плавкие предохранители.

Автоматические выключатели, реле перегрузки, дифференциальные реле и плавкие предохранители предназначены для защиты электрических двигателей и аппаратуры от перегрузок и токов короткого замыкания. Все эти аппараты обеспечивают автоматическое отключение цепей от сети при увеличении тока свыше допустимого значения. Их называют аппаратами максимальной защиты.

Автоматический выключатель АВ-8А-1 имеет пластмассовый корпус 3 (рис. 57). Все детали подвижного механизма автоматического выключателя — рычаг 23 держателя подвижного контакта, рычаг 27 привода, защелка 22 с пружиной 19 и отключающая пружина 1 укреплены на раме 25. Подвижной контакт 7 с помощью болта 8 крепится на держателе 5, связанном с рычагом 23 осью 4, и гибким шунтом 12 соединен с максимальной катушкой 14 и дугогасительным рогом 11. Неподвижный контакт 6 крепится на зажиме 2, к которому присоединен наконечник внешнего кабеля. Максимальная катушка автоматического выключателя является вместе с тем и дугогасительной. Она выполнена из медной шины, намотанной на ребро, и от стального сердечника изолирована бакелитовой втулкой. Второй конец катушки выведен на зажим 16, к которому присоединен наконечник второго внешнего кабеля. Под действием регулировочной пружины 13 якорь 15 отведен от сердечника. Если рукоятку 28 повернуть вправо вокруг оси 24, то ее шпилька 26, скользя по поверхности рычага держателя подвижного контакта, поворачивает рычаг против часовой стрелки, вызывая замыкание контактов 6 и 7. Под действием пружины 1 про-

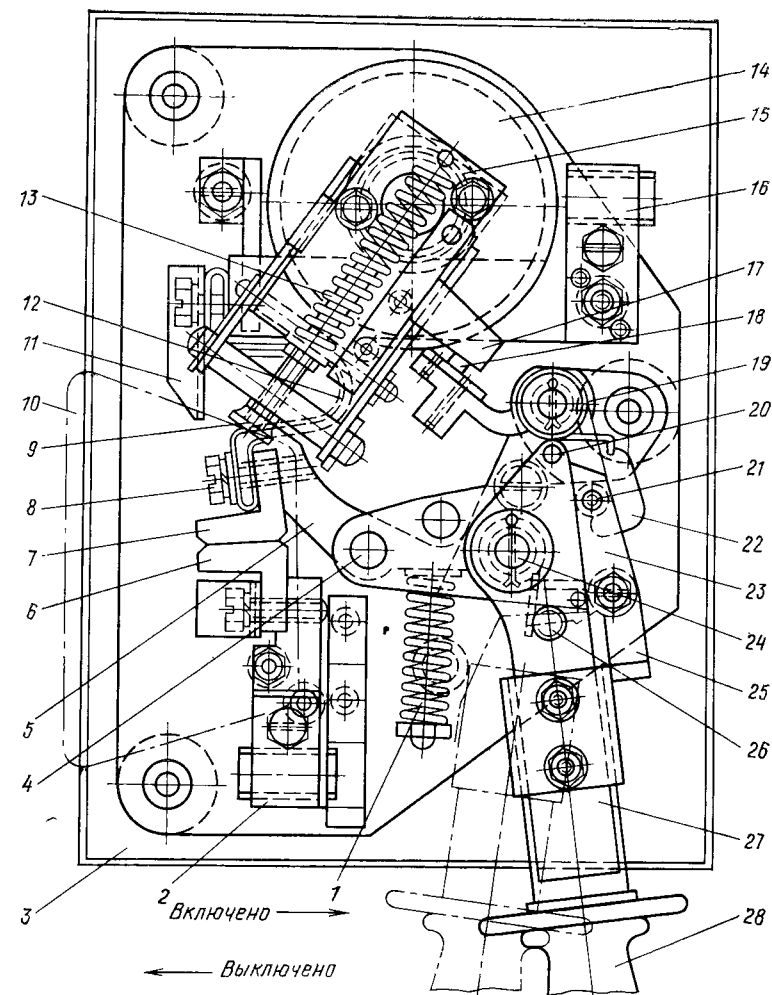


Рис. 57. Автоматический выключатель АВ-8А-1

исходит притирание контактов. Валик 21 рычага 23 западает за защелку 22, а хвостовик 18 защелки поднимается к упору 17 якоря. Защелка под действием своей пружины запирает подвижную систему во включенном состоянии.

По автоматическому выключателю ток идет от зажима 2 через замкнутые контакты 6 и 7, гибкий шунт, токовую катушку на зажим 16. Если ток превысит уставку выключателя, то электромагнитная сила, создаваемая катушкой выключателя, преодолеет силу пружины 13 и притянет якорь к сердечнику. При перемещении якоря по направлению к сердечнику его упор 17 отведет защелку 22, отцепляя ее от валика 21 контактного механизма, а контакты 6

и 7 автоматического выключателя под действием сильной выключающей пружины 1 разомкнутся, разрывая силовую цепь. Катушка 14 выключателя обеспечивает гашение дуги между контактами, разрывающими силовую цепь. Дугогасительная камера 10 изготовлена из асбестоцементных досок и снабжена перегородками. Стальные полюсы, заделанные в боковые стенки камеры, направляют магнитный поток в зону гашения дуги. Автоматический выключатель является аппаратом мгновенного действия, полное время его отключения составляет 0,04 с.

Ток уставки автоматического выключателя регулируют изменением натяжения пружины 13 с помощью гайки 9. Для ручного отключения силовой цепи от контактной сети необходимо перевести рукоятку 28 в левое положение, при этом рычаг 27 ручного привода выступом 20 отведет защелку 22, освобождая механизм отключения контактов. Технические данные автоматических выключателей приведены в табл. 10.

Реле перегрузки предусматриваются: типа РЭВ-571 — на троллейбусах ЗИУ-9; типа РМ-3001 — на трамвайных вагонах РВЗ-6М-2. На вагонах Т-3 в качестве реле перегрузки используют реле максимального тока, сблокированное с линейным контактором СВ-791 или SL-11. Реле РЭВ-571 (рис. 58) имеет Г-образное ярмо 3, выполненное из полосовой стали. К ярму прикреплен стальной сердечник 6, на котором укреплена токовая катушка 12 с помощью пружинной шайбы 8. Катушка 12 выполнена из медной шины и концы ее присоединены к силовым зажимам 1.

На изоляторе 9 якоря 7 устанавливают мостик 15 с подвижными контактами и контактной пружиной 10. Неподвижные контакты 14 укреплены на шпильках 11. Контакты выполнены из серебра. Нажатие подвижного контакта на неподвижный создается контактной пружиной. Ток срабатывания реле регулируют, изменяя усилие регулировочной пружины 4 гайкой 5, которая фиксируется после регулировки шплинтом.

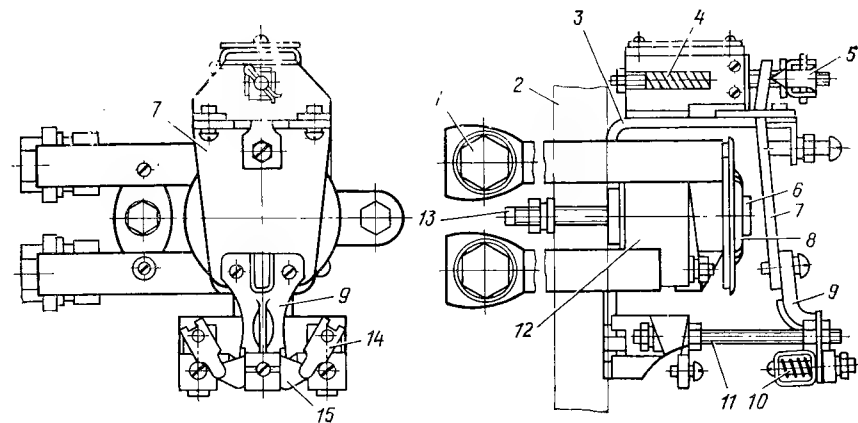


Рис. 58. Реле перегрузки РЭВ-571

Токовая катушка реле перегрузки включается в силовую цепь тягового двигателя, а размыкающие контакты реле — в цепь тягивающих катушек линейных контакторов. Когда ток в катушке 12 превысит установленное значение, сила электромагнита преодолеет усилие пружины 4 и притянет якорь 7 к сердечнику 6. В результате притяжения якоря контакты реле разомкнутся и отключат тягивающие катушки линейных контакторов. Последние выключатся и отключат силовую цепь от контактной сети. Реле перегрузки устанавливают на изоляционной контактной панели 2 с помощью шпилек 13.

Реле РМ-3001 по своей конструкции аналогично реле РМ-3000 (см. рис. 56). Его собирают и регулируют на контакторной панели. Реле РМ-3001 в отличие от РМ-3000 имеет меньшее обмоточное пространство, и катушка реле выполняется из медной шины. У реле РМ-3001 один размыкающий блок-контакт. Ток уставки реле регулируют гайкой, изменяющей натяжение регулировочной пружины. Действие реле РМ-3001 аналогично РЭВ-571.

Линейный контактор SL-11 (рис. 59) смонтирован совместно с реле максимального тока на изоляционном основании 1. На сердечнике магнитопровода 2 укреплен тягивающая катушка 3. Якорь 10 контактора под действием веса и двух выключающих пружин 12 оттянут от сердечника. На якоре укреплен держатель главного подвижного контакта 14 с контактной пружиной 13. Главный неподвижный контакт 15 смонтирован на изоляционной стойке и посредством дугогасительной катушки 16 соединен с внешним выводом, к которому подведен внешний кабель 18 от токоприемника. Для отвода тока от главного подвижного контакта служит гибкий шунт 11. Вспомогательные (блокировочные) контакты 9 линейного контактора включены в цепь управления.

Реле максимального тока имеет две катушки — токовую 5, выполненную из медной шины и включенную в цепь главных контак-

Таблица 10

Показатели	Значения показателей для двигателей				
	РВЗ-6М-2	КТМ-5М-3	КТМ-5М-3	ЗИУ-9	9Тр
Тип выключателя	АВ-8А-1	АВ-8А-1	АВ-8А-5	АВ-8А-1	2НА-1
Номинальное напряжение, В	550	550	550	550	600
Длительный ток, А	240	240	30	240	250
Ток уставки, А	650	800	60	500	450
Время срабатывания, с	0,04	0,04	0,05	0,04	0,025
Главные контакты:					
раствор, мм	13—16	13—16	13—16	13—16	8
провал, мм	8—10	8—10	8—10	8—10	—
конечное нажатие, Н	90—140	90—140	90—140	90—140	60
Масса, кг	8,2	8,2	8,0	8,2	19

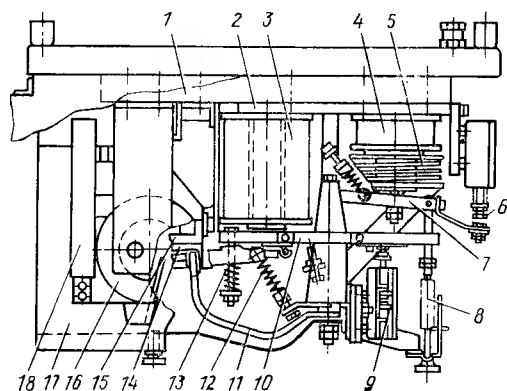


Рис. 59. Линейный контактор SL-11 с реле максимального тока

подвижной контакт 14 замыкается с неподвижным контактом 15, соединяя силовую цепь с контактной сетью. Когда включен линейный контактор, ток от токоприемника идет по кабелю 18, дугогасительной катушке 16, замкнутым контактам, гибкому шунту 11, катушке 5 реле и далее в силовую цепь. Если ток силовой цепи превысит уставку реле максимального тока (750 А), магнитный поток катушки 5 реле преодолет усилие пружины 8 и якорь 7 реле притянется к сердечнику, воздействуя на контакты 6. Размыкающие контакты реле отключат питание тягивающей катушки 3 линейного контактора, а замыкающие контакты замкнут цепь удерживающей катушки 4, что предотвратит повторное включение линейного контактора. Контактор, заблокированный с реле максимального тока, обеспечивает быстрое его отключение в течение 0,05 – 0,07 с. Дугогасительная камера 17 выполнена из асбоцемента.

Для включения линейного контактора после срабатывания реле максимального тока следует отпустить в нулевое положение пусковую педаль и нажать кнопку «Максимальное реле» на пульте водителя. При этом разрывается цепь питания удерживающей катушки реле максимального тока и аппарат подготавливается к следующему пуску.

Конструкция линейного контактора SB-791 и его работа аналогичны контактору SL-11 и отличаются монтажом реле максимального тока и расположением дугогасительной катушки.

Технические данные контакторов:

Тип контактора	SL-11	SB-791
Номинальное напряжение, В	750	750
Ток главных контактов, А	250	350
Ток уставки реле максимального тока, А	750±5	750±20
Напряжение катушек управления контактора, В	24	24
Раствор главных контактов, мм	20	10—11

тов контактора, и удерживающую 4, включенную в цепь управления. Обе катушки расположены на общем сердечнике. Якорь 7 реле максимального тока при срабатывании реле воздействует на контакты 6 реле, включенные в цепь управления. Ток уставки реле регулируют изменением натяжения регулировочной пружины 8.

При возбуждении тягивающей катушки 3 контактора якорь 10 притягивается к сердечнику, в результате чего главный

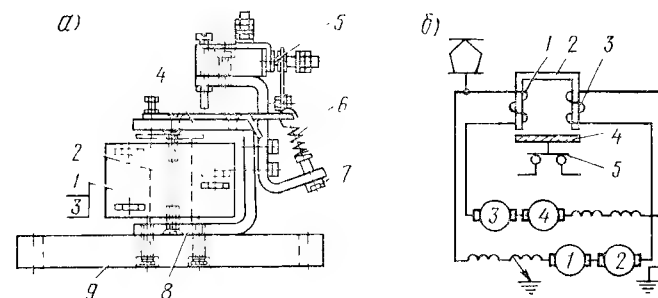


Рис. 60. Общий вид дифференциального реле RE-22 (а) и схема его включения (б)

Дифференциальное реле RE-22 применяемое на вагоне Т-3, предназначено для защиты оборудования от неполных коротких замыканий в силовых цепях тяговых электродвигателей, когда замыкание на «землю» происходит через какое-либо сопротивление и ток не достигает значения, на которое отрегулировано реле максимального тока. Принцип работы основан на значительной разности токов, проходящих по одинаковым катушкам дифференциального реле, которая возникает при коротком замыкании или обрыве в цепи одной из групп тяговых двигателей. На сердечнике 2 реле (рис. 60) установлены две токовые катушки 1 и 3, выполненные из полосовой меди, намотанной на ребро. Одна из катушек включена в цепь первой группы тяговых двигателей, а вторая — в цепь второй группы. При прохождении тока по катушкам их магнитные потоки направлены навстречу друг другу и поэтому якорь 4 не притягивается к сердечнику 2 и контакты 5 реле остаются разомкнутыми. Контакты 5 дифференциального реле находятся в цепи удерживающей катушки реле максимального тока. Если же в одной из групп тягового двигателя произойдет короткое замыкание на «землю» или обрыв цепи, то равновесие магнитных потоков катушек реле нарушится, сердечник притянет якорь 4, который замкнет контакты 5. При этом замкнется цепь питания удерживающей катушки реле максимального тока, в результате чего сработает реле максимального тока и выключит линейный контактор, который отключит силовую цепь от контактной сети.

Для настройки реле служит регулировочный винт 7, с помощью которого изменяют усилие пружины 6. Магнитопровод 8 реле двумя винтами укреплен на изоляционном основании 9.

Плавкие предохранители используют на трамвайных вагонах и троллейбусах для защиты от коротких замыканий и перегрузок вспомогательных высоковольтных и низковольтных цепей. Они бывают закрытого и открытого типов. Предохранители закрытого типа применяют в высоковольтных цепях. В предохранителе закрытого типа (рис. 61, а) плавкая вставка 4, выполненная из медной калиброванной проволоки, помещается в фибровую или фар-

форовую трубку 5. С торцов трубка закрывается латунными колпачками 6, которые фиксируются на трубке винтами. Концы вставки припаяны к колпачкам. Внутренняя полость колпачков заполнена асбестовой ватой 1, а трубки между наборами асбестовых шайб 2 заполнены мраморной крошкой 3 или кварцевым песком. При установке плавкого предохранителя его латунные колпачки надежно входят в пружинные контактные зажимы, закрепленные на шитке предохранителей.

В случае увеличения тока в защищаемой цепи выше допустимого проволока плавится, разрывая цепь. Под действием высокой температуры фибра и мраморная крошка выделяют значительный объем газа, повышая давление в трубке, что способствует быстрому гашению электрической дуги. Нормальный ток, на который рассчитан плавкий предохранитель, указан на латунном колпачке. Такой ток предохранитель может выдерживать в течение длительного времени.

Плавкие предохранители открытого типа обычно используют в цепях управления. Они выполнены в виде фибровых пластинок 7 (рис. 61, б) с контактными обоями 8 по концам, к которым припаяны плавкие вставки 4. В открытых предохранителях мощность дуги, возникающей при перегорании вставки, невелика, поэтому она охлаждается и гаснет на атмосферном воздухе.

Реле минимального тока РЭВ-830, применяемое на троллейбусе ЗиУ-9, служит для защиты параллельной обмотки возбуждения тягового электродвигателя от перегрева при переходе с электрического торможения на пневматическое.

Катушка реле минимального тока РМТ включена в тормозную цепь якоря тягового двигателя (см. рис. 82). При электрическом торможении тормозной ток проходит по катушке реле, намагничивает сердечник, который притягивает якорь, и контакты реле замыкаются. Контакты реле минимального тока находятся в цепи тягивающей катушки контактора Ш2 (см. рис. 83), при включении которого шунтируется регулировочный резистор в цепи параллельной обмотки возбуждения тягового двигателя. Если скорость движения троллейбуса во время торможения становится ниже 5—7 км/ч, то тормозной ток в силовой цепи уменьшается до 10—15 А, и реле минимального тока срабатывает (отключается). Его контакты размыкаются и разрывают питающую цепь тягивающей

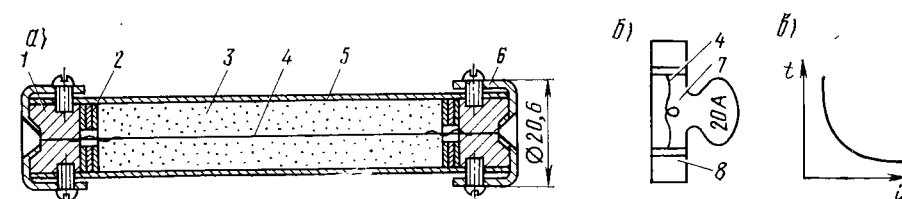


Рис. 61. Плавкие предохранители закрытого (а) и открытого (б) типов; (в — зависимость времени плавления вставки от тока)

катушки контактора Ш2. При выключении контактора Ш2 в цепь параллельной обмотки возбуждения тягового двигателя вводится регулировочный резистор, в результате чего в этой цепи ток снижается до значения, соответствующего длительному режиму работы параллельной обмотки возбуждения двигателя.

Реле минимального тока регулируют на ток отключения 10—15 А и ток включения 50—60 А. Регулировка осуществляется изменением натяжения регулировочной пружины 18 (см. рис. 55) и изменением зазора между якорем 9 и сердечником 5 с помощью упорного винта 16. Ток отпадания регулируется отжимной пружиной 7 и изменением толщины немагнитных прокладок 6, которые устанавливаются на якорь реле.

27. АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ ПО НАПРЯЖЕНИЮ

Защиту от повышения напряжения в силовой цепи применяют только на подвижном составе с рекуперативным торможением. Недопустимое повышение напряжения возникает в том случае, когда во время рекуперативного торможения происходит отключение потребителей энергии от контактной сети. При высоких тормозных скоростях значение э. д. с. двигателя, работающего в генераторном режиме, может достигать значения, опасного для диэлектрической прочности изоляции и коммутационной стойкости двигателей.

Защита от повышения напряжения осуществляется с помощью электромагнитного реле максимального напряжения или выключателя напряжения. Тягивающую катушку реле максимального напряжения или выключателя напряжения подключают к тяговому двигателю через добавочный резистор.

При срабатывании реле или выключателя напряжения силовая цепь тягового двигателя отключается от контактной сети и собирается цепь для реостатного торможения. В качестве выключателя напряжения применяют контактор с электромагнитным приводом. На вагоне РВЗ-6М-2 применен контактор КПД-113, но в отличие от обычных контакторов он имеет более тщательную регулировку магнитной системы, что позволяет его рассчитать на достаточно стабильный ток срабатывания.

В момент размыкания цепи параллельного возбуждения в обмотке возбуждения возникает э. д. с. самоиндукции, которая может вызвать значительное перенапряжение и пробой изоляции. В этом случае для защиты от перенапряжения параллельно к обмотке возбуждения подсоединяют разрядный резистор, который способствует снижению перенапряжения.

Значительное понижение напряжения не представляет опасности для электрооборудования. Однако последующее восстановление напряжения без предварительного включения пускового реостата может вызвать перегрузку и круговой огонь на коллекторных двигателях. Для защиты от подобных перегрузок на всех видах электрического подвижного состава установлены реле минималь-

ного напряжения (нулевого). В качестве реле нулевого напряжения на троллейбусах ЗиУ-9 используют реле РЭВ-827, на трамвайных вагонах РВЗ-6М-2 — реле РЭВ-821, на вагонах КТМ-5М-3 — реле РЭВ-825. На троллейбусе 9Тр устанавливают реле сигнализации о потере напряжения (тип РР-47Д). Эти реле подключают к напряжению контактной сети через добавочные резисторы.

Реле нулевого напряжения РЭВ-827 выполнено с секционированными катушками. Основная (втягивающая) катушка РН (см. рис. 82, а) включается через добавочный резистор на напряжение контактной сети. При подаче напряжения на эту катушку якорь притягивается к сердечнику реле.

Токовая катушка подключается параллельно последовательной обмотке возбуждения тягового двигателя через регулировочный реостат КФ-62А. По токовой катушке реле нулевого напряжения ток идет на позициях ослабления возбуждения последовательной обмотки тягового двигателя. Действие намагничивающих сил катушек втягивающей и токовой согласованное. Реле имеет один замыкающий контакт РН (см. рис. 83), который включен в цепь питания втягивающих катушек линейных контакторов, и один размыкающий контакт в цепи звонка отрыва токоприемника.

Реле нулевого напряжения РЭВ-825 в отличие от реле РЭВ-827 имеет на сердечнике только одну втягивающую катушку и, помимо этого, два замыкающих и два размыкающих контакта.

Когда напряжение в контактной сети нормальное, якорь реле находится в притянутом состоянии, а при прекращении питания или чрезмерном понижении напряжения в контактной сети он отпадает под действием пружины и контакты реле переключаются: замыкающие контакты реле нулевого напряжения разомкнутся и разорвут цепь питания втягивающих катушек линейных контакторов, что приведет к отключению силовой цепи тяговых двигателей от контактной сети, а размыкающие контакты включатся и замкнут цепь питания звонка отрыва токоприемника. Последний подаст звуковой сигнал водителю об отсутствии или чрезмерном понижении напряжения в контактной сети. Кроме того, подается световой сигнал контрольной лампочкой, установленной на щитке управления водителя. В случае восстановления напряжения в контактной сети нулевое реле включается, причем силовая цепь включается линейными контакторами во всех схемах автоматического управления только при полностью введенных пусковых реостатах.

Реле нулевого напряжения регулируют на напряжение срабатывания 350—380 В.

28. АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ ОТ АТМОСФЕРНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Атмосферные перенапряжения в контактной сети возникают при прямом попадании молнии или при разряде проходящего над контактной сетью заряженного облака. После разряда молнии

сконцентрированные электрические заряды стремятся разрядиться на землю через устройства тяговой подстанции или находящийся на участке трамвайный вагон. Грозовые разряды представляют большую опасность для электрооборудования, так как вследствие высокого потенциала (десятки и сотни тысяч вольт) может произойти пробой изоляции. Поэтому на трамвайных вагонах устанавливают специальные защитные устройства от перенапряжений — грозовые разрядники.

На троллейбусах защита от атмосферных напряжений не предусматривается ввиду больших трудностей отвода зарядов в землю. Защитные устройства от перенапряжений устанавливают только в контактной сети.

Общим принципом действия защитных устройств является то, что перенапряжения отводятся в землю при пробое воздушного искрового промежутка, минуя цепи вагона. Размер искрового промежутка рассчитывают так, чтобы он не оказывал влияния на работу схемы вагона при некотором повышении нормального напряжения контактной сети, но пробивался бы при опасном для электрооборудования напряжении (более 850 В).

На вагонах РВЗ-6М-2 и КТМ-5М-3 предусмотрен вентильный грозоразрядник РМВУ-0,55, на вагоне Т-3 типа GZM-0,9.

Разрядник (рис. 62) состоит из двух вилитовых дисков ¹, покрытых по бокам твердой изоляционной замазкой, скрепляющей их между собой и одновременно предотвращающей поверхностные разряды. Вилитовые диски расположены на магнитах ⁸ из барьерного феррита, также имеющих форму дисков. Между магнитами устанавливают комплект искрового промежутка ², выполненный из медных и изоляционных шайб. Все устройство размещено в фарфоровом корпусе ⁶, который опирается на днище ⁹. Пружина ³ создает плотный контакт между деталями. К шпильке ⁵ подведен провод от токоприемника, а металлический фланец ¹ соединен с рамой вагона (заземлен).

Принцип действия разрядника основан на свойстве вилита ¹ изменять сопротивление в зависимости от приложенного напряжения: при низком напряжении сопротивление вилита велико, а при повышении напряжения оно резко уменьшается. При напряжении контактной сети ток через разрядник не проходит, а в случае перенапряжений (более 850 В) ток свободно проходит через вилит, искровые промежутки пробиваются, попадая под повышенное на-

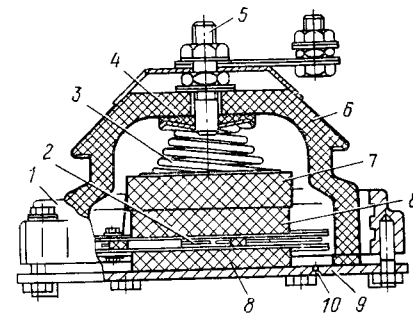


Рис. 62. Вентильный грозоразрядник РМВУ-0,55

¹ Вилит — материал, получаемый обжигом карбида кремния с добавкой глины и графита.

пряжение, диски заземляются и через разрядник идет импульсный ток в течение короткого промежутка времени (около 10 мкс). Когда ток равен нулю, разрядник отключается от земли, вилитовые диски восстанавливают свое сопротивление и так как напряжение контактной сети недостаточно для поддержания дуги в искровом промежутке, она гасится под действием магнитного поля постоянных магнитов и газов, которые выделяются внутренними изоляционными деталями при срабатывании разрядника. При перекрытии дисков и возникновении токов к. з. возникает опасность разрыва корпуса из-за чрезмерного повышения давления внутри разрядника.

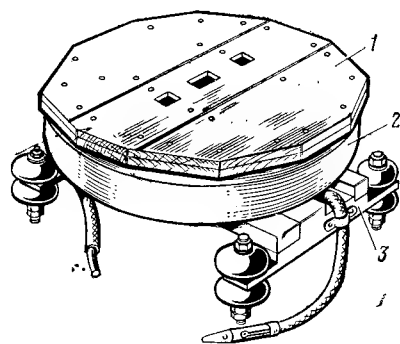
Для предотвращения этого в днище 9 предусмотрен предохранительный клапан 10, срабатывающий при избыточном давлении 0,2—0,5 МПа. Разрядник имеет герметическое уплотнение из озоностойких резиновых прокладок 4, устанавливается он на крыше вагона на резиновых амортизаторах.

29. ЗАЩИТА РАДИОПРИЕМА ОТ ПОМЕХ, ВЫЗЫВАЕМЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Электрооборудование электрического подвижного состава во время его работы вызывает помехи для приемных радиоустановок, расположенных в районе контактной сети. Основными причинами возникновения радиопомех являются отрыв токоприемников от контактных проводов, искрение между токоприемниками и контактным проводом, искрение на коллекторах электрических машин, контактах контакторов и контроллеров, действие звуковой сигнализации.

Защита от радиопомех в основном сводится к предотвращению их проникновения в контактную сеть. Защиту можно разделить на две группы: общую для всей схемы электрического подвижного состава и индивидуальную, которая защищает отдельные цепи.

В качестве общей защиты применяют реакторы помехоподавления (рис. 63), которые представляют собой плоские катушки индуктивности 2 с большим диаметром без стального сердечника



Катушки изготовляют из медной или алюминиевой шины с micaнитовой межвитковой изоляцией с последующей пропиткой. По две-три катушки монтируют на деревянном основании 3 и сверху их закрывают деревянной крышкой 1. Реакторы устанавливают на фарфоровых изоляторах на постаменте впереди токоприемников. Катушки реакторов соединяют последовательно с токоприемниками и параллельно каждой катушке подключают подстроечные конденсаторы.

Подбирая реакторы с различными резонансными частотами, можно получить высокое значение сопротивлений для токов высокой частоты, т. е. для излучаемых работающим электрооборудованием радиопомех.

Для индивидуальной (местной) защиты предназначаются гасители, которые включают параллельно коммутационным аппаратам. Искрогасители состоят из конденсаторов с последовательно включенными резисторами (RC-цепи). При разрыве дуги на контактах электрического аппарата или искрении на коллекторе электрической машины возникающий спектр высокой частоты замыкается через конденсаторы и гасится в цепи RC. С этой же целью обмотки добавочных полюсов тяговых электродвигателей разделяют на две секции и включают симметрично относительно якоря. В этом случае они действуют как дроссели помехоподавления.

Одним из мероприятий, уменьшающих радиопомехи, является улучшение контакта между токоприемником и контактным проводом. Этого достигают поддержанием установленного нажатия токоприемника на контактный провод и применением контактной вставки с широкой поверхностью контакта. Наименьшие помехи радиоприему создают угольные вставки, так как уголь непрерывно полирует поверхность контактного провода. Алюминиевые вставки задирают контактный провод, появляются заусенцы, которые ухудшают контакт между токоприемником и контактным проводом. Для предотвращения этого в кападки алюминиевых вставок пантографных и дуговых токоприемников необходимо закладывать графитовую смазку УСсА.

Рис. 63. Реактор помехоподавления

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

30. ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Изменение режима работы тягового электропривода на подвижном составе обеспечивается системой управления, которая осуществляет:

подключение тяговых двигателей к контактной сети при пуске; плавное или ступенчатое регулирование напряжения, подводимого к двигателям;

плавное или ступенчатое регулирование возбуждения тяговых двигателей;

переключение двигателей на режим электрического торможения;

переключение с одного вида торможения на другой, например с рекуперативного на реостатное, с реостатного на механическое; выключение тяговых двигателей — переход на выбег с режима тяги или торможения;

реверсирование направления вращения двигателей для изменения направления движения подвижного состава;

отключение двигателей или части их при аварийных режимах; аварийное отключение одной из подвижных единиц (при работе по системе многих единиц).

Ступенчатое регулирование напряжения на тяговом двигателе осуществляется как изменением ступеней реостатов в цепи двигателей, так и перегруппировкой их с последовательного на параллельное соединение. Последнее может выполняться на подвижном составе с несколькими двигателями. На подвижном составе троллейбуса и трамвая перегруппировку двигателей осуществляют редко, так как эта операция существенно усложняет систему управления и не является обязательной для выполнения основных режимов работы подвижного состава.

Системы управления двигателями в зависимости от способа регулирования напряжения разделяются на реостатные и безреостатные, в зависимости от вида регулирующих устройств — на ступенчатые и плавные, от способа управления электрическими аппаратами — на системы непосредственного управления и системы косвенного или дистанционного управления, по принципу управления — на автоматические и неавтоматические.

Реостатные системы управления в режиме пуска обеспечивают регулирование напряжения двигателя изменением сопротивления

пускового реостата, включаемого последовательно с двигателем. *Безреостатные системы управления* (тиристорно-импульсные системы) обеспечивают регулирование напряжения двигателя подачей на него импульсов напряжения постоянной амплитуды, ширина и (или) частота которых может меняться по требуемому закону.

В *ступенчатых системах управления* изменение среднего напряжения на двигателях происходит ступенями, причем так, чтобы ток в тяговых двигателях (следовательно, сила тяги) менялся в заданных пределах от некоторого наименьшего значения до наибольшего. В *плавных* или *бесступенчатых* системах изменение среднего напряжения на двигателях происходит плавно (или очень мелкими ступенями). В таких системах ток и сила тяги в процессе регулирования напряжения поддерживаются практически постоянными.

Система управления, при которой все операции по управлению тяговыми двигателями выполняются одним аппаратом — контроллером, приводимым в действие непосредственно водителем, называется системой *непосредственного управления*, а контроллер — *силовым контроллером*. Контроллер непосредственного управления (силовой) обычно имеет два вала и управляется двумя рукоятками: главной и реверсивной. С помощью главной рукоятки выполняют все основные операции управления: включение и выключение тяговых двигателей, постепенное выведение пускотормозных реостатов, перегруппировку тяговых двигателей, ослабление возбуждения двигателей, переключение электрической схемы с тягового режима на тормозной и обратно.

С помощью реверсивной рукоятки изменяют направление движения вагона (реверсируют тяговые двигатели), отключают поврежденную группу тяговых двигателей и собирают схемы аварийного режима, а также «запирают» контроллер. Между главным и реверсивным валами устанавливают механические блокировки, предохраняющие электрическое оборудование от повреждения при неправильном порядке выполнения операций управления. Непосредственное управление характеризуется простотой аппаратов управления и применяется на трамвайных вагонах с невысокими ускорениями и замедлениями.

Система управления, при которой все необходимые переключения в цепи тяговых двигателей осуществляются специальными аппаратами — индивидуальными или групповыми контакторами, управляемыми с помощью контроллеров управления, называется системой *косвенного управления*. При косвенном (дистанционном) управлении водитель управляет аппаратами силовой цепи на расстоянии с помощью контроллеров управления. В этом случае процесс управления значительно облегчается, так как для приведения в действие контроллера управления требуется значительно меньше усилия по сравнению с силовым контроллером непосредственного управления.

Косвенные системы управления позволяют создавать электрические схемы с более сложной функциональной взаимосвязью

электрических аппаратов, осуществлять автоматическую защиту электрооборудования, а также заменять сложные механические блокировочные устройства более простыми и надежными — электрическими. Эти системы проще поддаются автоматизации. Система косвенного управления с индивидуальными контакторами получила широкое распространение на троллейбусах. К косвенным групповым системам управления относятся такие системы, в которых выведение ступеней пускотормозных реостатов, регулирование возбуждения, а иногда и перегруппировка двигателей выполняются групповым аппаратом — реостатным контроллером.

В случае использования групповых и индивидуальных аппаратов косвенная система управления называется смешанной.

На электрическом подвижном составе городского электрического транспорта групповые системы применяют преимущественно при автоматическом управлении.

При автоматическом управлении регулирование процессов пуска и торможения (выведение ступеней пускового и тормозного реостатов, регулирование возбуждения и т. п.) происходит без участия водителя, который только включает и выключает цепи управления или задает интенсивность режима пуска или торможения.

Системы управления подвижным составом трамвая и троллейбуса с автоматическим пуском и торможением по сравнению с неавтоматическими системами обеспечивают получение более высоких скоростей сообщения благодаря возможности существенного повышения ускорений и замедлений, а следовательно, уменьшение расхода электроэнергии при одинаковой скорости сообщения; увеличение плавности процессов пуска и электрического торможения; устранение ударных усилий и перегрузок, которые могут возникнуть при неправильных действиях водителя; облегчение труда водителя и увеличение безопасности движения, так как свое внимание водитель может в большей мере сосредоточить на уличном движении. Роль автоматизации управления особенно возрастает в связи с повышением интенсивности движения и скоростей сообщения.

При неавтоматическом управлении плавный пуск получается при среднем ускорении трамвайных вагонов и троллейбусов менее 1 м/с^2 . В случае автоматического управления это ускорение достигает $1,5\text{—}1,8 \text{ м/с}^2$.

Современные системы управления должны отвечать следующим общим требованиям:

обеспечивать управление тяговыми двигателями в процессах пуска и торможения автоматически с минимальным участием водителя;

операции по выбору режима работы тяговых двигателей должны осуществляться автоматически либо водителем. В последнем случае они должны выполняться легко запоминающимися операциями и простыми средствами (рукоятками или педалями контроллера управления). Причем одновременно нельзя использовать более одной рукоятки и педали;

все рукоятки и педали управления должны иметь взаимную блокировку, исключающую ошибочные действия при управлении и обеспечивающую при любых условиях более безопасный режим — торможение;

отказ в работе какого-либо электрического аппарата не должен приводить к неправильному выполнению команды управления водителя, например, пуска вместо тормоза или движения назад вместо движения вперед и т. п.;

электрооборудование систем управления тяговыми двигателями и его монтаж должны быть надежными, иметь удобный доступ для контроля и обслуживания;

система управления должна иметь по возможности наименьшую массу, размеры и стоимость.

31. РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ПРИ РЕОСТАТНОМ ПУСКЕ

Управление тяговыми двигателями при пуске. Если на подвижном составе имеется группа тяговых двигателей, в общем случае соединенных между собой последовательно-параллельно, то при пуске их подключают к контактной сети U_n через пусковой реостат R_n , сопротивление которого по мере увеличения скорости постепенно уменьшают до нуля.

Схема подключения тягового двигателя при пуске приведена на рис. 64.

На подвижном составе городского электрического транспорта пуск обычно осуществляют при постоянном среднем токе в тяговых двигателях I_d . При этом скорость подвижного состава

$$v = \left[U_n / n - I_d \left(r_d + \frac{k}{n} R_n \right) \right] / c\Phi, \quad (30)$$

где v — скорость подвижного состава, км/ч;

r_d — суммарное активное сопротивление обмоток одного тягового двигателя, включающее сопротивление обмотки якоря r_a , обмотки последовательного возбуждения r_b и дополнительных полюсов r_{dp} , Ом;

n — число последовательно соединенных двигателей;

k — число параллельных цепей тяговых двигателей;

Φ — магнитный поток в тяговом двигателе;

c — коэффициент, зависящий от конструктивных параметров двигателя.

Из уравнения (30) следует, что скорость подвижного состава можно регулировать изменением числа последовательно соединенных двигателей n , сопротивления пускового реостата R_n или магнитного потока двигателей Φ .

Для реализации первого способа известны различные схемы перегруппировок тяговых двигателей, однако на современных трол-

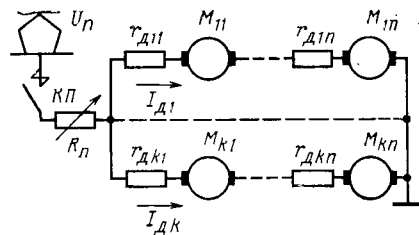


Рис. 64. Принципиальная схема реостатного пуска

тизации. Основными недостатками этого способа являются большой расход электроэнергии, усложнение регулирующей аппаратуры (при стремлении к плавному, мелкоступенчатому пуску).

Для плавного трогания с места, а также уменьшения динамических воздействий на тяговую передачу начальное ускорение a_0 следует выбирать не более $0,3—0,4$ м/с² при ненагруженном подвижном составе.

Указанное ускорение обеспечивает сила тяги (в ньютонах)

$$F_0 = [1000 (1 + \gamma_0) a_0 + \omega'_0] m_0 / (k + n), \quad (31)$$

где γ_0 — коэффициент инерции вращающихся частей ненагруженного подвижного состава; $\gamma_0 = \gamma_n m_n / m_0$. Здесь γ_n — коэффициент инерции вращающихся частей нормально нагруженного подвижного состава; $\gamma_n = 0,1 \div 0,14$ для трамвайных вагонов, $\gamma_n = 0,1 \div 0,12$ для троллейбусов; m_0 , m_n — масса ненагруженного и нормально нагруженного подвижного состава, т;

ω'_0 — удельное сопротивление движению подвижного состава при $v=0$, Н/т;

$k+n$ — общее число включенных тяговых двигателей.

По значению силы тяги F_0 с помощью характеристик $F(I)$ для конкретного тягового двигателя определяют ток $I_{до}$ в момент трогания подвижного состава при $v=0$.

Из уравнения (30) определим наибольшее сопротивление пускового реостата $R_{п1}$, соответствующее первой (маневровой) позиции,

$$R_{п1} = \left(\frac{U_n}{I_{до}} - r_{дn} \right) / k. \quad (32)$$

Наибольшую силу тяги F определяют по заданному наибольшему среднему ускорению $a_{ср}$

$$F = [1000 (1 + \gamma) a_{ср} + \omega_0] m_n / (k + n), \quad (33)$$

где m_n — масса нормально нагруженного подвижного состава, т;

128

лейбусах и трамвайных вагонах перегруппировку тяговых двигателей не используют. Наибольшее распространение получил второй способ регулирования скорости — с помощью пускового реостата R_n . Этот способ в принципе позволяет обеспечить плавный пуск при максимальной силе тяги, высокие ускорения при требуемой плавности процесса пуска. При этом способе система управления сравнительно легко поддается автоматизации.

ω_0 — среднее удельное сопротивление движению за время реостатного пуска. В расчетах ориентировочно можно принять: $\omega_0 = 120$ Н/т — для троллейбусов, $\omega_0 = 50$ Н/т — для трамвайных вагонов.

Используя характеристики силы тяги двигателя $F(I)$, по значению F из уравнения (33) определяют средний наибольший пусковой ток $I_{дср}$.

При расчете реостатного пуска обычно задают значение коэффициента неравномерности по току K_i , который характеризует колебания пускового тока при переключении ступеней пускового реостата. Значение коэффициента K_i выбирают в зависимости от ускорения $a_{ср}$:

$$K_i = 0,1 \div 0,2 \text{ при } a_{ср} = 0,6 \div 0,8 \text{ м/с}^2;$$

$$K_i = 0,08 \div 0,15 \text{ при } a_{ср} = 1,0 \div 1,2 \text{ м/с}^2;$$

$$K_i = 0,06 \div 0,1 \text{ при } a_{ср} = 1,3 \div 1,5 \text{ м/с}^2.$$

Зная средний пусковой ток $I_{дср}$ и коэффициент неравномерности K_i , определяют максимальный и минимальный токи:

$$I_{д\max} = I_{дср} (1 + K_i); \quad (34)$$

$$I_{д\min} = I_{дср} (1 - K_i). \quad (35)$$

Значение $I_{д\max}$, вычисленное по формуле (34), не должно превышать ток двигателя, допустимый по условиям коммутации, а сила тяги $F_{\max}$, соответствующая току $I_{д\max}$, не должна превышать значения, допустимого по условиям сцепления. По значениям $I_{д\max}$ и $I_{д\min}$ строят пусковую диаграмму, по которой предварительно выбирают число ступеней пускового реостата и их сопротивления.

Для многодвигательного привода пусковую диаграмму обычно строят для одного двигателя, а затем полученные сопротивления ступеней пусковых реостатов R_i пересчитывают по формуле

$$R_{пi} = R_i n / k. \quad (36)$$

Пусковая диаграмма имеет две зоны: начальную, где ускорение меняется от a_0 до $a_{ср}$, и рабочую, где ускорение $a = a_{ср} = \text{const}$. Расчет диаграммы начинают с рабочей зоны.

Зависимость сопротивления пускового реостата, приведенного к одному двигателю, от скорости получим из уравнения (30)

$$R = \frac{U_n - c\Phi v}{I_d} - r_{дn}, \quad (37)$$

где U_n — напряжение, В, на одном двигателе, $U_n = U_n / n$.

При постоянном пусковом токе I_d зависимость $R(v)$ линейная. Для каждого значения $I_{ди}$ можно построить зависимость $R_i(v)$ по двум точкам с координатами: $R_i=0$; $v=v_{ви}$ и $v=0$; $R_i=U_n/I_{ди}-r_{дn}$. Здесь $v_{ви}$ — скорость выхода на автоматическую характеристику при токе $I_{ди}$.

На рис. 65 показаны зависимости $R_i(v)$ для токов $I_{д1}$, $I_{д2}$, $I_{д3}$ и $I_{д4}$. По характеристикам $R_i(v)$ можно построить реостатную ха-

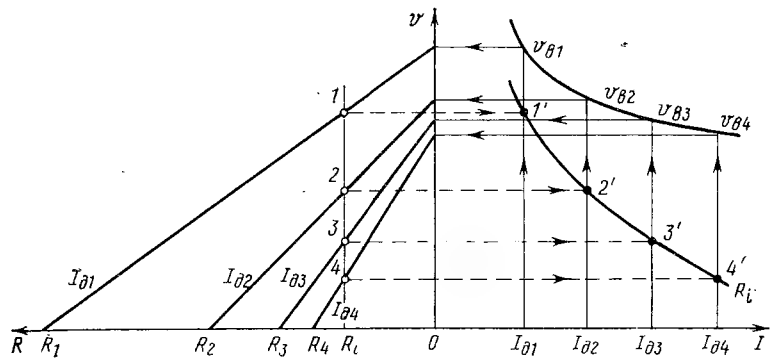


Рис. 65. Построение реостатных характеристик

рактеристику $v(I_d)$ при некотором значении R_i . Для этого в левом квадранте с координатами R и v проводят вертикаль через точку R_i и точки пересечения 1, 2, 3, 4 этой вертикали с зависимостями $R_i(v)$ переносят параллельно горизонтальной оси на соответствующие вертикали в правом квадранте, проведенные через точки $I_{d1}, I_{d2}, I_{d3}, I_{d4}$. Получив точки $1', 2', 3', 4'$, их соединяют между собой, образуя искомую характеристику $R_i(I_d)$. Аналогично можно построить любую другую реостатную характеристику.

При ступенчатом реостатном пуске ток в тяговом двигателе колеблется от $I_{\min}$ до $I_{\max}$. На рис. 66 поясняется порядок построения пусковой диаграммы. В правой части рис. 66 проведены две вертикали через точки $A'(I_{\min})$ и $C'(I_{\max})$ до пересечения с автоматической характеристикой в точках B', D' . Сопротивления пусковых реостатов, соответствующие токам $I_{\min}$ и $I_{\max}$, определяют из формулы (37) при $v=0$:

$$R_A = \frac{U_d}{I_{\min}} - r_d; \quad R_C = \frac{U_d}{I_{\max}} - r_d.$$

Характеристики $R_A(v)$ и $R_C(v)$ на рис. 66 проведены через точки A, B, C, D . Далее из точки D проводят горизонталь до пересечения с характеристикой $R_A(v)$, из точки пересечения 11 проводят вертикаль до пересечения с характеристикой $R_C(v)$. Из точки пересечения 10 снова проводят горизонталь до пересечения с характеристикой $R_A(v)$ и т. д. Таким образом, получают ступенчатую кривую, вписанную между характеристиками $R_A(v)$ и $R_C(v)$. Затем горизонтальные линии полученной ступенчатой кривой продолжают до вертикальных прямых в правом квадранте, проходящих через точки, соответствующие $I_{\min}$ и $I_{\max}$. Полученные точки пересечения $1', 2', 3'$ и т. д. соединяют между собой так, как показано на рис. 66.

Полученная ломаная кривая является пусковой диаграммой, изображающей изменение тока двигателя в процессе пуска в диа-

пазоне скорости $0 \leq v \leq v_n$, т. е. до выхода на автоматическую характеристику двигателя, соответствующую напряжению U_d .

Наклонные линии, заключенные между значениями $I_{\min}$ и $I_{\max}$, являются реостатными характеристиками $v(I_d)$ при соответствующих сопротивлениях ступеней пусковых реостатов R_1, R_2 и т. д.

Для предварительного построения начальной зоны пусковой диаграммы на оси токов I_d откладывают значение начального тока $I_1 = I_{d0}$. При $R_n = R_1$ точка пересечения реостатной характеристики $v(I_d)$ с осью I_d на рис. 66 обозначена через I_{1y} . Интервал между I_{1y} и I_1 делят на N интервалов так, чтобы каждый из них не превышал значения $\Delta I = I_{\max} - I_{\min}$. Следовательно,

$$N = \frac{I_{1y} - I_{d0}}{I_{\max} - I_{\min}}. \quad (38)$$

Значение N , полученное из формулы (38), округляют в большую сторону до ближайшего целого числа. Полученные значения токов на рис. 66 обозначены через I_2, I_3 . Значения сопротивлений, обеспечивающих такие токи при $v=0$, можно определить из выражения (37).

Полученные N значений токов в начальной зоне пусковой диаграммы совместно с ранее построенными реостатными характеристиками рабочей зоны определяют общее предварительное число ступеней пускового реостата, требуемое для обеспечения пуска по заданным условиям $a_0, a_{\text{ср}}, K_i$.

Схемы пусковых реостатов. На основании полученных из предварительной пусковой диаграммы числа ступеней и значений сопротивлений каждой из них составляют схему соединений пуско-

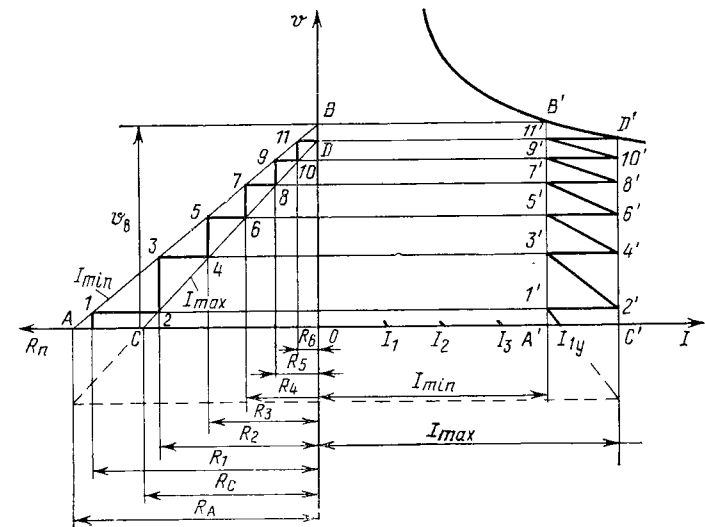


Рис. 66. Ступенчатая диаграмма реостатного пуска при одной группировке двигателей

Таблица 11

Позиция	Номер контактора						Включение секций
	1	2	3	4	5	6	
1	—	—	—	—	—	1	$a + b + c + d$
2	2	—	—	—	—	2	$b + c + d$
3	3	3	—	—	—	3	$c + d$
4	—	4	4	—	—	4	d
5	—	—	5	5	—	5	$a + b + c + d \parallel d$
6	—	—	—	6	6	—	$(b + c + d) \parallel d$
7	7	—	—	7	7	—	$(c + d) \parallel d$
8	8	8	—	8	8	—	$d \parallel d$
9	—	9	9	9	9	—	0
10	—	—	10	10	10	10	0

вого реостата, которая должна отвечать следующим основным требованиям:

возможность образовать требуемое число ступеней, полученное из предварительной пусковой диаграммы;

обеспечивать значения сопротивлений каждой ступени, близкие к расчетным;

иметь наименьшее число контактов для получения требуемого числа ступеней;

переключение контакторов должно осуществляться без разрыва тока;

нагрузка на отдельные секции реостатов должна быть по возможности равномерной.

Выбор схемы реостатов зависит от числа и способа перегруппировок тяговых двигателей, а также числа ступеней пусковых реостатов.

На рис. 67 представлена так называемая верньерная схема, в которой реостат разделяется на две группы: одна группа состоит из секций а—г — регулируемая, а другая из секции д — нерегулируемая. В начале пуска обе группы резисторов соединяются последовательно и общее пусковое сопротивление уменьшается при замыкании секций регулируемой группы резисторов. Затем обе группы соединяются параллельно и в дальнейшем общее сопротивление уменьшается вследствие замыкания секций регулируемой группы резисторов. Порядок замыкания контакторов приведен в табл. 11.

Возможны и другие варианты верньерных схем. Главным преимуществом этих схем является то, что они позволяют

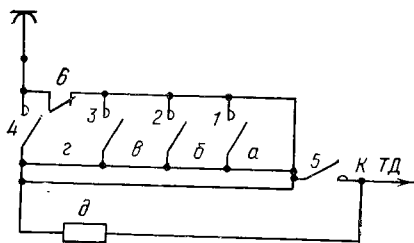


Рис. 67. Верньерная схема реостата

при относительно малом числе контакторов получить большое число пусковых ступеней. Аналогичные схемы реостатов можно использовать для регулирования тока в цепи независимой обмотки возбуждения. Верньерные схемы используют на подвижном составе с одним тяговым двигателем или с одной группировкой тяговых двигателей.

После определения и выбора сопротивлений ступеней пускового реостата их проверяют на длительный и максимальный тепловой режим [1].

Критерием правильного выбора реостатов и их компоновки является отсутствие превышения допустимых температур, а также наименьшие размеры массы.

32. РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПУСКЕ

На подвижном составе городского электрического транспорта применяют тяговые двигатели с широким диапазоном регулирования скорости изменением магнитного потока.

После завершения реостатного пуска, когда R_n становится равным нулю, дальнейшее увеличение скорости достигают ослаблением возбуждения двигателя. При этом скорость определяется уравнением (30) при $R_n=0$ и ее изменения достигают посредством шунтирования обмотки последовательного возбуждения резистором (в двигателях последовательного возбуждения), либо увеличивая сопротивление цепи обмотки возбуждения (в двигателях смешанного или независимого возбуждения).

Регулировать скорость изменением возбуждения тягового двигателя экономично, так как в резисторах, регулирующих возбуждение, рассеивается относительно небольшая электроэнергия (по сравнению с энергией в пусковых реостатах).

В двигателях последовательного возбуждения (рис. 68, а) реостат r_m для регулирования возбуждения включают параллельно обмотке возбуждения, имеющей небольшое активное сопротивление r_b (несколько сотых долей ома). Обычно в цепь, шунтирующую обмотку возбуждения (ОВ), включают индуктивный шунт (ИШ), улучшающий работу двигателя в переходных режимах при колебаниях напряжения в контактной сети. Индуктивность ИШ обычно выбирают из условия $L_{иш} = (0,5 \div 0,75) L_b$, где L_b — индуктивность обмотки возбуждения двигателя.

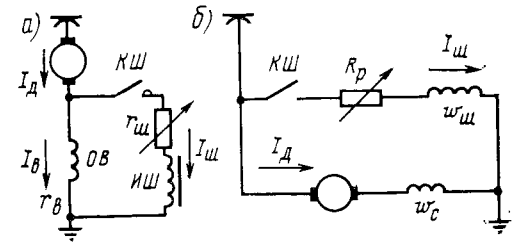


Рис. 68. Схемы ослабления возбуждения тягового двигателя последовательного (а) и смешанного (б) возбуждения

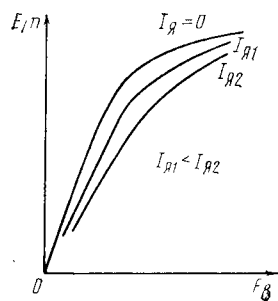


Рис. 69. Нагрузочные характеристики тягового двигателя

В двигателях смешанного возбуждения (рис. 68, б) с преобладающей обмоткой независимого возбуждения, когда $I_{ш}W_{ш} > I_{д}W_{с}$, потери в регулирующем реостате R_p также невелики, так как ток, протекающий через R_p , значительно меньше тока двигателя: $I_{ш} = (3 \div 7) \% \text{ от } I_{д}$.

В двигателях смешанного возбуждения с преобладающей обмоткой последовательного возбуждения, когда $I_{д}W_{с} > I_{ш}W_{ш}$, часто регулируют возбуждение сочетанием выше рассмотренных двух способов (см. рис. 68, а, б). В этом случае после выхода на естественную характеристику полного возбуждения сначала отключают обмотку независимого возбуждения, затем уменьшают ток в обмотке последовательного возбуждения, шунтируя ее реостатом.

В общем случае возбуждение двигателя характеризуется магнитодвижущей силой (м. д. с.) и для оценки степени возбуждения двигателя вводят понятие коэффициента регулирования (или степени ослабления) возбуждения

$$\alpha = F_{ов} / F_{пв}, \quad (39)$$

где $F_{св}$, $F_{пв}$ — м. д. с. ослабленного и полного возбуждения, зависящие от тока в обмотке возбуждения: $F_{в} = I_{в}W_{с}$ (здесь $W_{с}$ — число витков обмотки возбуждения).

Для построения скоростной характеристики $v(I_{я})$ двигателя последовательного возбуждения при степени ослабления возбуждения α обычно пользуются нагрузочными характеристиками двигателя $E/n(F_{в}, I_{я})$ (рис. 69) и уравнениями:

$$v = \frac{U_{д} - I_{я}(r_{я} + \alpha r_{в})}{c\Phi} = E/c\Phi; \quad (40)$$

$$c\Phi = \frac{5,3\mu}{D_{вк}} E/n, \quad (41)$$

где μ — передаточное число редуктора;
 $D_{вк}$ — диаметр ведущего колеса, м;
 E — э. д. с. вращения, В;
 n — частота вращения, об/мин.

Расчет характеристики $v(I_{я})$ при $\alpha \neq 1$ ведут в такой последовательности. Задаются током $I_{я}$, находят падение напряжения на обмотках двигателя $I_{я}(r_{я} + \alpha r_{в})$, э. д. с. вращения $E = U_{д} - I_{я}(r_{я} + \alpha r_{в})$, ток возбуждения $I_{в} = \alpha I_{я}$, м. д. с. $F_{в} = I_{в}W_{с}$. По нагрузочной характеристике, т. е. зависимости E/n от $(F_{в}, I_{я})$, определяют значение E/n и по формуле (41) находят $c\Phi$. Затем по выражению (40) рассчитывают скорость при заданном токе $I_{я}$.

Расчет характеристики $v(I_{я})$ при $\alpha \neq 1$ для двигателя смешанного возбуждения ведут в такой же последовательности. Отличие заключается в том, что м. д. с. в этом случае определяют из уравнения

$$F_{в} = I_{ш}W_{ш} \pm I_{в}W_{с}, \quad (42)$$

$I_{ш}$ — ток обмотки независимого возбуждения, при котором строят характеристику $v(I_{я})$, $I_{ш} = \text{const}$;

$I_{в}$ — ток обмотки последовательного возбуждения;

$W_{ш}$, $W_{с}$ — число витков обмоток независимого и последовательного возбуждения.

Характеристики силы тяги $F(I)$ строят по формуле

$$F = F_{эм} - \Delta F = 3,6(c\Phi I - \Sigma P_{мм}/v), \quad (43)$$

где $F_{эм}$ — электромагнитная сила тяги, Н;
 $\Delta F = 3,6\Sigma P_{мм}/v$ — потери силы тяги на преодоление магнитных и механических потерь в двигателе, а также механических потерь в тяговой передаче;
 $\Sigma P_{мм}$ — суммарные магнитные и механические потери мощности в двигателе и механические потери в тяговой передаче, Вт;
 v — скорость движения подвижного состава, км/ч.

Потери мощности $\Sigma P_{мм}$ зависят от частоты вращения двигателя n , тока возбуждения $I_{в}$ и потерь мощности в тяговой передаче $P_{зп}$. Эти зависимости обычно определяют при проектировании двигателей и тяговых передач либо экспериментально.

Если при расчете характеристик $F(I)$ зависимости $\Sigma P_{мм}(n, I_{в}, P_{зп})$ отсутствуют, то построить $F_{ов}(I)$ при ослабленном возбуждении можно приближенным методом, располагая характеристикой $F_{пв}(I)$ полного возбуждения. При этом для двигателя последовательного возбуждения следует принять

$$I_{ов} = I_{пв}/\alpha; F_{ов} \approx F_{пв}/\alpha,$$

где $I_{ов}$, $F_{ов}$ — ток якоря и соответствующая ему сила тяги при коэффициенте ослабления возбуждения α ;

$I_{пв}$, $F_{пв}$ — ток якоря и соответствующая ему сила тяги при полном возбуждении.

Приближенный способ построения зависимости $F(I)$ поясняется рис. 70.

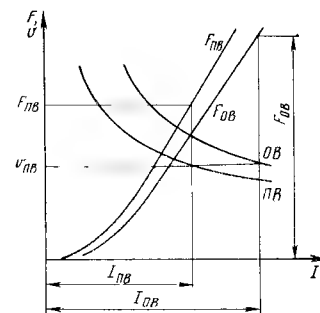


Рис. 70. Графическое построение электромеханических характеристик при ослаблении возбуждения

При отсутствии нагрузочных характеристик $E/n(F_v, I_d)$ зависимость $v(I)$ для двигателя последовательного возбуждения при $\alpha \neq 1$ также можно построить приближенным способом, приняв допущение $v_{ов} \approx v_{пв}$ при $I_{ов} = I_{пв}/\alpha$.

Приближенный способ построения $v(I)$ при коэффициенте регулирования α показан на рис. 70. Следует отметить, что ошибка приближенного способа построения характеристик $v(I)$, $F(I)$ при ослабленном возбуждении по характеристикам полного возбуждения тем больше, чем меньше коэффициент регулирования α .

33. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ТОРМОЖЕНИЕ

Кинетическую энергию движущегося подвижного состава можно сравнительно просто преобразовать в электрическую, переведя тяговые двигатели в генераторный режим. При этом механическая передача совместно с приводными колесами преобразует поступательное движение подвижного состава во вращательное движение якоря генератора.

Если теперь создать магнитное поле в генераторе (возбудить машину), то в якорной обмотке его будет наводиться э. д. с. $E = c\Phi v$. Подключив к источнику э. д. с. нагрузку так, чтобы через нее мог протекать ток, создавая тормозной момент на валу генератора, обеспечивают требуемую тормозную силу и замедление подвижного состава.

Электрическое торможение называют *реостатным*, если параллельно генератору подключен реостат. При реостатном торможении электрическая энергия генератора преобразуется в тепловую энергию, выделяемую в основном в реостате.

Если генератор подключить параллельно контактной сети, от которой питаются другие единицы подвижного состава, то генератор через контактную сеть будет питать потребителей электрической энергии — троллейбусы и трамвайные вагоны, работающие в режиме тяги.

Электрическое торможение, при котором электрическая энергия возвращается в сеть, называется *рекуперативным торможением*. Очевидно, рекуперативное торможение обеспечивает более экономичную работу подвижного состава, чем реостатное, так как в процессе рекуперации (возврате электроэнергии в сеть) энергия тормозящего подвижного состава используется для питания других единиц подвижного состава, а при реостатном торможении эта энергия превращается в теплоту, которая рассеивается в окружающей среде.

На всех видах подвижного состава городского электрического транспорта применяют электрическое торможение, так как оно позволяет существенно снизить эксплуатационные расходы на обслуживание системы механического торможения. При электрическом торможении механический тормоз используется только как замещающий или дополнительный тормоз, что повышает надежность ре-

жима торможения, являющегося наиболее ответственным режимом работы подвижного состава и, следовательно, безопасность городского электрического транспорта.

В реостатных системах управления распространено реостатное торможение, а на подвижном составе с тяговыми двигателями смешанного возбуждения — рекуперативное и реостатное торможение. Причем в последнем случае рекуперативное и реостатное торможение используют главным образом для подтормаживания (например, на спусках) и в ограниченном диапазоне скоростей движения (25—60 км/ч), а при торможении до остановки применяют только реостатное торможение.

В тиристорно-импульсных системах управления эффективное рекуперативное торможение можно осуществлять во всем рабочем диапазоне скоростей. В этих системах реостатное торможение используют только как замещающее (при отсутствии или ограниченном потребителе на данном участке контактной сети).

Любая система электрического торможения должна удовлетворять следующим основным требованиям: обладать электрической устойчивостью при всех возможных эксплуатационных режимах и высокой эксплуатационной надежностью, простотой и удобством управления для водителя; обеспечивать достаточно равномерное распределение тока между тяговыми генераторами, плавное и быстрое появление тормозной силы при установке контроллера управления в тормозное положение, требуемые тормозные характеристики без превышения допустимых пределов для аппаратов и оборудования.

34. ТОРМОЗНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СХЕМЫ РЕОСТАТНОГО ТОРМОЖЕНИЯ

Во время торможения тяговый двигатель, работающий в генераторном режиме, подключается к тормозному реостату R_T , по которому протекает тормозной ток

$$I_T = E/(r_d + R_T) = c\Phi v/(r_d + R_T). \quad (44)$$

Тормозная сила

$$B = F_{эм} + \Delta F = 3,6c\Phi I_T + 3,6\Sigma P_{мм}/v. \quad (45)$$

С учетом формулы (43) тормозную силу без большой погрешности можно представить как

$$B = F + 2\Delta E. \quad (46)$$

Зависимость $F(I)$, обычно известная для тягового двигателя, позволяет определить $\Delta F(I)$:

$$\Delta F = F_{эм} - F, \quad (47)$$

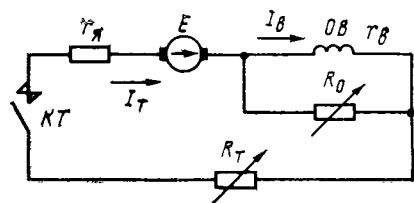


Рис. 71. Принципиальная схема реостатного торможения двигателя последовательного возбуждения

Принимая сопротивления на пусковых и тормозных позициях одинаковыми при постоянном коэффициенте ослабления возбуждения α , графическое построение тормозных характеристик сводят к следующему. По уравнению (44) строят прямолинейные характеристики $v(R_T)$ для нескольких значений $I_T = \text{const}$ (рис. 72). Затем через точки, соответствующие значениям тормозных (пусковых) сопротивлений R_{Ti} на каждой позиции, проводят вертикальные прямые, которые пересекают зависимости $v(R_T)$ при $I_T = \text{const}$. Указанные точки пересечений сносят по горизонтали в правый квадрант с координатами v и I_T . Пересечения этих горизонталей с вертикалями, проведенными через точки соответствующие токам $I_{Ti} = \text{const}$, являются точками характеристики $v(I_T)$ при соответствующем R_{Ti} .

При автоматическом изменении тормозного сопротивления в процессе снижения скорости подвижного состава ток под контролем токового реле ускорения (РУ) колеблется от $I_{T\min}$ до $I_{T\max}$. Поэтому для построения тормозной диаграммы с колебаниями тока от $I_{T\min}$ до $I_{T\max}$ в квадранте с координатами v, R_T строят линейные зависимости $v(R_T)$ при $I_T = I_{T\min} = \text{const}$ и $I_T = I_{T\max} = \text{const}$ (рис. 73).

Затем между прямыми $v(R_T)$ при $I_{T\min}$ и $I_{T\max}$ вписывают ступенчатую кривую в такой последовательности. По оси v из точки 1 пересечения оси v с зависимостью $v(R_T)$ при $I_{T\min}$ проводят вертикаль до пересечения с прямой $v(R_T)$ при $I_{T\max}$ в точке 2. Из точки 2 проводят горизонталь до пересечения прямой $v(R_T)$ при $I_{T\min}$ и получают точку 3. Из точки 3 проводят вертикаль до пересечения с прямой $v(R_T)$ при $I_{T\max}$ и получают точку 4 и т. д.

В правой части рис. 73 построена тормозная диаграмма при изменении тока от $I_{T\min}$ до $I_{T\max}$. В верхней части тормозной диаграммы показаны ограничения по максимальной допустимой скорости подвижного состава $v_{\max}$ (прямая 1).

Обычно в зоне высоких скоростей от v_n до $v_{\max}$, торможение осуществляют при ослабленном возбуждении тягового двигателя. Это позволяет избежать превышения допустимых значений напряжения на них и снизить тормозное сопротивление на первых тормозных позициях. Последнее, как правило, облегчает согласование сопротивлений ступеней пусковых и тормозных реостатов.

где $F_{\text{эм}} = 3,6 \text{ сФ} I$ — электромагнитная сила, определяемая с помощью нагрузочных кривых $E/n(F_B, I_T)$.

В тормозном режиме с двигателями последовательного возбуждения (рис. 71) чаще всего используют пусковые реостаты и электроаппаратуру, предназначенную для пускового режима, поэтому требуется согласование пусковых и тормозных характеристик.

При торможении с высокой скорости напряжение на тяговом двигателе не должно превышать максимального допустимого напряжения $U_{T\max}$ по условиям ограничения максимального напряжения между коллекторными пластинами двигателя. Напряжение $U_{T\max}$ зависит от степени ослабления возбуждения, конструктивных параметров и изоляционных материалов тягового двигателя. Это напряжение обычно в 1,5—1,8 раза больше номинального напряжения двигателя и обуславливает наибольший тормозной ток I_T в зависимости от скорости v_T по закону

$$v_T = \frac{U_{T\max} + I_T (r_{\text{я}} + \alpha r_{\text{в}})}{c\Phi} \quad (48)$$

Принимая, что зависимость $c\Phi(F_B, I)$ для пускового и тормозного режимов одинакова, заменим значение $c\Phi$ в формуле (48) согласно уравнению (40). В результате получим

$$v_T = \frac{U_{T\max} + I (r_{\text{я}} + \alpha r_{\text{в}})}{U_d - I (r_{\text{я}} + \alpha r_{\text{в}})} v, \quad (49)$$

где U_d, v — напряжение на двигателе и скорость в пусковом режиме.

Уравнение (49) позволяет построить ограничения по напряжению на двигателе в области высоких скоростей при полном ($\alpha = 1$) и ослабленном ($\alpha < 1$) возбуждении. На рис. 73 показаны ограничения при полном возбуждении 2 и при ослабленном возбуждении 2'. Кривая 3 изображает ограничения по сцеплению. Тормозная диаграмма считается удовлетворительной по условиям сцепления, если ток в тяговых двигателях не выходит за ограничения кривой 3.

Строя тормозную диаграмму в области ограничений по напряжению на двигателях, характеристику первой позиции выбирают так, чтобы при скорости $v_{\max}$ замедление ненагруженного подвижного состава не превышало 0,4—0,5 м/с². Между первой тормозной характеристикой при R_{T1} и характеристикой 13'—14' строят несколько промежуточных характеристик. Их число выбирают так, чтобы при переходе с одной позиции на другую замедление изменялось плавно и приращение его не превышало 0,4 м/с². При автоматическом управлении плавно нарастания замедления в области высоких скоростей обычно достигают изменением уставки тока регулирования реле ускорения.

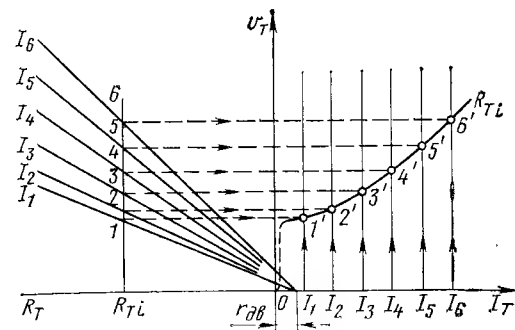


Рис. 72. Графическое построение характеристики реостатного торможения графическим методом

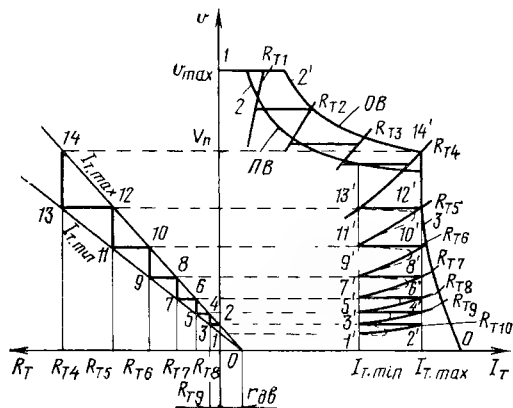


Рис. 73. Построение тормозной диаграммы

(колебания тока превышают заданные $I_{T.min}$, $I_{T.max}$), приходится корректировать некоторые ступени или даже изменять их число. После этого проверяют пусковую диаграмму по скорректированным сопротивлениям.

При согласовании сопротивлений ступеней пускотормозных реостатов следует учитывать, что при больших замедлениях, существующих на городском электрическом транспорте, возможно допускать на последних тормозных позициях существенно большие колебания тормозного тока, чем полученные при построении тормозной диаграммы, так как на этих позициях тормозное сопротивление мало и, следовательно, тормозная цепь имеет большую постоянную времени. Поэтому в действительности колебания тормозного тока сглаживаются (см. рис. 73, штриховые линии). Схема торможения, число тормозных позиций и порядок переключений в значительной мере зависят от системы возбуждения тяговых двигателей.

При торможении с двигателями последовательного возбуждения чаще всего обмотку возбуждения включают последовательно с якорем генератора (см. рис. 71). Схема торможения генератора последовательного возбуждения не требует дополнительного источника, в ней процесс торможения не зависит от уровня (и наличия) напряжения в контактной сети и требуемая тормозная сила обеспечивается при оптимальном использовании машины.

Недостатком схемы с последовательным возбуждением генераторов является относительная длительность и нестабильность процесса самовозбуждения генераторов. Время самовозбуждения зависит от скорости, сопротивления тормозного реостата, степени ослабления возбуждения и остаточного магнитного потока в машине.

Для ускорения и стабилизации процесса самовозбуждения в начале торможения иногда применяют дополнительное возбуждение с помощью специальной небольшой подмагничивающей обмотки

Возможно также регулировать замедление в области высоких скоростей с помощью реле минимального напряжения, которое обеспечивает переключения с одной характеристики на другую при определенном напряжении на двигателе (см. рис. 73).

В случае если использование пусковых ступеней сопротивлений при торможении не обеспечивает желаемой тормозной диаграммы

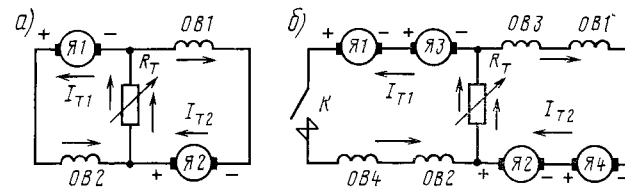


Рис. 74. Схемы реостатного торможения с самовозбуждением генераторов последовательного возбуждения с двумя (а) и с четырьмя (б) тяговыми двигателями

возбуждения. Причем эта дополнительная обмотка питается либо от контактной сети, либо от другого источника (например, аккумуляторной батареи).

Иногда подготовку к торможению начинают с торможения (с малой тормозной силой) в режиме выбега. Последнее, хотя и уменьшает время наступления эффективного торможения, связано с существенным увеличением расхода электроэнергии.

Схема электрического торможения с двигателем последовательного возбуждения, замкнутым на тормозной реостат, является электрически устойчивой. В случае установки на подвижном составе двух или четырех двигателей в режиме торможения их соединяют параллельно или последовательно-параллельно.

Если параллельно работающие генераторы последовательного возбуждения включить на общий тормозной резистор, через который протекает суммарный ток генератора, то схема будет электрически неустойчива и, следовательно, неработоспособна. Для получения устойчивой схемы в этом случае прибегают к перекрестной схеме соединения обмоток двигателей, т. е. обмотки возбуждения одной группы двигателей включают в цепь якорей другой группы и, наоборот, обмотки возбуждения другой группы — в цепь обмоток якорей первой группы (рис. 74).

Реостатное торможение с генераторами смешанного возбуждения применяют на некоторых троллейбусах и трамвайных вагонах. Рассмотрим схему торможения с одним двигателем (рис. 75). В ней обмотка независимого возбуждения $W_{ш}$ через регулируемое сопротивление резистора $R_{ш}$ подключена к контактной сети, а обмотка последовательного возбуждения включена в цепь якоря генератора. В двигателях смешанного возбуждения с преобладающей (по м. д. с.) обмоткой независимого возбуждения при пуске обмотки возбуждения включают согласно, а при торможении встречно.

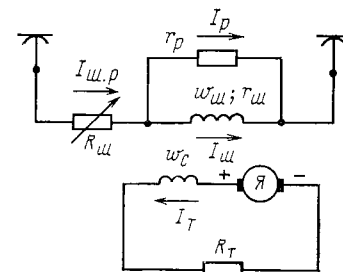


Рис. 75. Схема реостатного торможения с двигателями смешанного возбуждения

Для перехода с тягового на тормозной режим отключают якорь двигателя от контактной сети и подключают его к тормозному реостату R_T . Обмотка независимого возбуждения при этом остается подключенной к контактной сети. В результате под действием э. д. с. вращения в обмотках якоря и последовательного возбуждения ток меняет свое направление. Так как направление потока в машине сохраняется (оно определяется в любом режиме обмоткой независимого возбуждения), а направление тока в обмотке якоря изменяется на противоположное, то появляется тормозная сила.

Характеристики реостатного торможения $v_T(I_T)$; $B(I_T)$, $B(v_T)$ при R_{T1} , R_{T2} , R_{T3} и $I_{ш}$, $I'_{ш}$ для генератора встречно смешанного возбуждения строятся по формулам (44), (45) и приведены на рис. 76.

Тормозную силу и тормозной ток в двигателях смешанного возбуждения регулируют изменением тока в обмотке независимого возбуждения $W_{ш}$. При увеличении тока в обмотке якоря увеличивается ток в обмотке последовательного возбуждения, что приводит к уменьшению потока в машине и, начиная с некоторого значения тока I_T , к снижению тормозной силы, поэтому характеристики $B(I_T)$ имеют максимум.

Характеристики генератора встречно-смешанного возбуждения благоприятны для торможения, так как в широком диапазоне скоростей тормозная сила изменяется незначительно. Такие характеристики требуют значительно меньше ступеней тормозных реостатов, и следовательно, контакторов.

К недостаткам схемы торможения генератора встречно-смешанного возбуждения следует отнести несколько меньшие тормозные силы из-за недоиспользования магнитного потока, зависимость тормозной силы от уровня (и наличия) напряжения в контактной сети, а также значительное снижение тормозной силы в зоне малых скоростей.

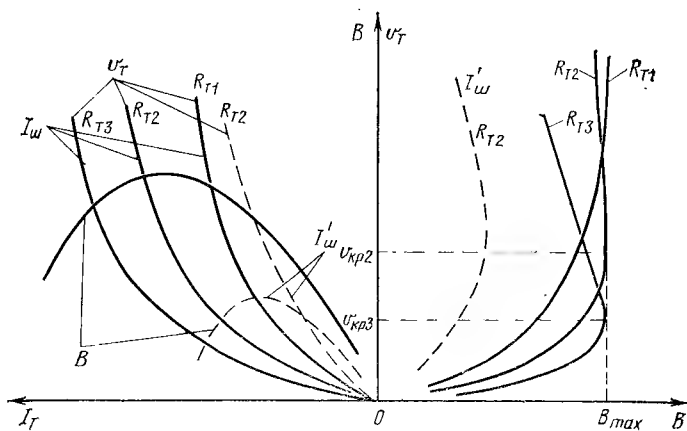


Рис. 76. Тормозные характеристики, $R_{T1} > R_{T2} > R_{T3}$, $I_{ш} > I'$

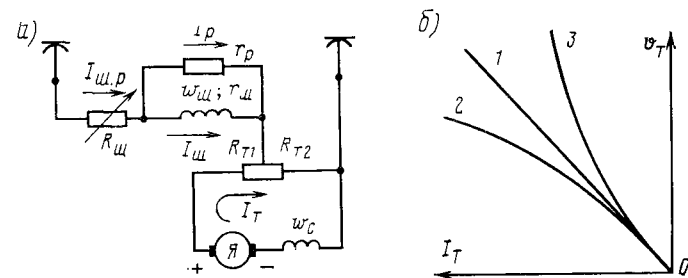


Рис. 77. Схема реостатного торможения (а) и тормозные характеристики (б)

Отмеченные недостатки в значительной мере устранены в схеме с генератором согласно-смешанного возбуждения (рис. 77, а). Здесь м. д. с. обмоток независимого и последовательного возбуждения направлены согласно и в цепь обмотки независимого возбуждения введена часть тормозного реостата R_{T2} , по которому протекает сумма токов I_T и $I_{ш}$. Основная составляющая м. д. с. в этой схеме создается обмоткой последовательного возбуждения, а с помощью тормозного реостата R_{T2} (стабилизирующего резистора) тормозным характеристикам $v_T(I_T)$ придается требуемая «мягкость» (крутизна), что обеспечивает достаточную постоянность тормозной силы при изменении скорости. Для примера на рис. 77, б приведены тормозные характеристики $v_T(I_T)$ при различных значениях соотношений W_c и $\gamma W_{ш}$, где $\gamma = R_{T2} / [r_{ш} + (R_{ш} + R_{T2})(r_{ш} + r_p)]$. Если $W_c = \gamma W_{ш}$, то характеристики соответствуют независимому возбуждению (прямая 1, рис. 77, б). Если $W_c > \gamma W_{ш}$, то характеристики аналогичны согласно-смешанному возбуждению (кривая 2), а при $W_c < \gamma W_{ш}$ — встречно-смешанному возбуждению — кривая 3.

Использование стабилизирующего резистора иногда позволяет обеспечить приемлемые тормозные характеристики даже при отключенной обмотке последовательного возбуждения (например, на трамвайном вагоне КТМ-5М-3 и троллейбусе ЗиУ-9). Однако такая схема торможения существенно уступает схемам с самовозбуждением в отношении наибольшего тормозного усилия.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ТРОЛЛЕЙБУСОВ С КОСВЕННОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

35. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ТРОЛЛЕЙБУСА 9Тр

На троллейбусе 9Тр установлен тяговый двигатель с последовательным возбуждением мощностью 115 кВт, который позволяет эксплуатировать троллейбус как в городах с легким профилем пути, так и в горных условиях на трассах с затяжными уклонами и переменным продольным профилем.

Ступени пускового реостата выводятся силовыми электромагнитными контакторами 28SM, последовательность включения и выключения которых осуществляется контроллером управления КТД-12, имеющим педальное управление. Ходовой контроллер имеет 11 позиций, из них 8 реостатных, 9-я ходовая, 10-я и 11-я позиции ослабления возбуждения тягового двигателя. Служебное реостатное торможение осуществляется с самовозбуждением тягового двигателя. Тормозной контроллер имеет 7 позиций.

Контроллер управления позволяет применять две системы пуска:

а) при быстром нажатии ходовой педали без выдержки на позициях происходит автоматический пуск с максимальным ускорением. Ходовой барабан вращается под действием натяжной пружины, причем частота вращения, а значит, и скорость выведения пусковых реостатов из цепи тягового двигателя регулируются порошковой электромагнитной муфтой, которая работает как электромагнитный тормоз, блокирующий и отпускающий ходовой барабан контроллера управления при определенном токе в силовой цепи. Таким образом осуществляется автоматической пуск с максимальным ускорением и одновременно защита тягового двигателя от чрезмерной перегрузки;

б) плавно нажимая пусковую педаль, водитель может осуществлять движение троллейбуса с меньшим ускорением. Электромагнитная муфта в этом случае не будет срабатывать. Рывки при пуске сглаживаются маховиком, связанным с валом электромагнитной муфты. Маховик замедляет вращение ходового барабана на первых пусковых позициях, когда ток в силовой цепи еще не достигает уставки электромагнитной муфты.

Подготовка схемы к работе. Рассмотрим работу электрических цепей троллейбуса 9Тр, используя электрическую схему силовой

цепи (рис. 78, а), таблицу включения контакторов (рис. 78, б), схему цепи управления (рис. 79, а). Чтобы привести электрические цепи в рабочее состояние, необходимо прежде всего установить токоприемники *T1* и *T2* на контактные провода. Включить цепи управления и потребителей к аккумуляторной батарее на напряжение 24 В. Выключателем 235 включить цепь втягивающей катушки контактора 220 двигателя компрессора. Автоматическим выключателем 011 подключить силовую цепь к контактной сети. Блок-контакты автоматического выключателя 011 замкнутся и подготовят включение цепей втягивающих катушек линейного контактора 021 и контактора 012, подключающего высоковольтные вспомогательные цепи троллейбуса к контактной сети.

После того как компрессор наполнит пневматическую систему сжатым воздухом, следует установить рукоятку реверсора в ходовое положение, соответствующее намеченному направлению движения — «Вперед» или «Назад».

Работа ходового и тормозного барабанов контроллера управления взаимно блокируется кулачковыми контакторами 326 и 328 тормозного контроллера и выключателем 306 педали пневматического тормоза.

Если пусковая и тормозная педали находятся в нулевом положении, то кулачковые контакторы 326 и 328 (рис. 79, в) и выключатель 306 остаются замкнутыми. После нажатия на педаль пневматического тормоза выключатель 306 разомкнется и разорвет электрическую цепь движения только тогда, когда откроется пневматический тормозной кран и тормозное усилие будет достаточным для удержания троллейбуса на уклоне.

Пуск и регулирование скорости. При установке ходовой педали на 1-ю позицию замыкаются кулачковые контакторы 323, 331, 506 контроллера хода и на короткое время — 321 (рис. 79, б). Ток по цепи управления идет от положительного вывода аккумуляторной батареи (рис. 79, а) через плавкий предохранитель 10 А, выключатель 300, кулачковые контакторы 321, 323, втягивающую катушку линейного контактора 021, кулачковый контактор 326 тормозного контроллера, выключатель 306, блок-контакты 011 автоматического выключателя на отрицательный вывод аккумуляторной батареи. Одновременно через кулачковый контактор 321 и блок-контакты 011 получает питание втягивающая катушка контактора 026. После включения линейного контактора 021 замыкаются его блок-контакты 021, шунтирующие кулачковый контактор 321, который на 2-й позиции размыкается, и со 2-й позиции на втягивающие катушки контакторов 021 и 026 будет поступать питание только через блок-контакты контактора 021.

Если ходовой или тормозной барабан контроллера управления по какой-либо причине не вернулся на нулевую позицию, то пуск двигателя не может быть осуществлен, так как цепь втягивающей катушки линейного контактора 021 не соберется.

На 1-й позиции замыкается кулачковый контактор 331 контроллера хода и включает втягивающую катушку силового контак-

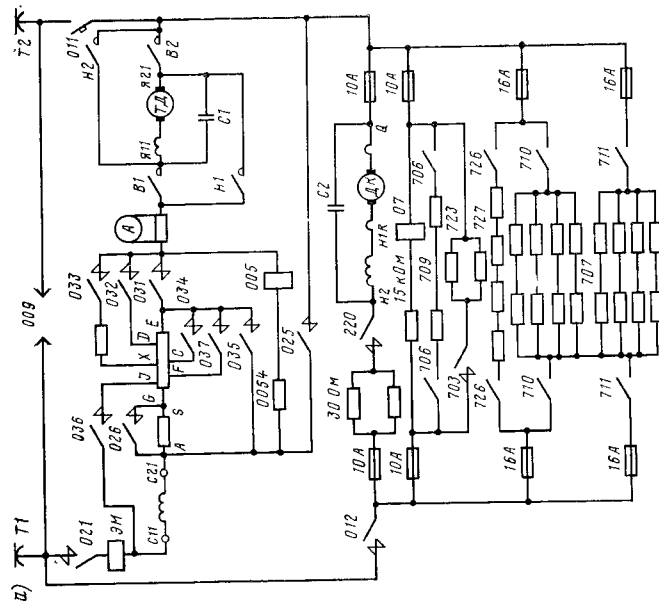


Рис. 78. Принципиальная электрическая схема цепей напряжением 550 В (а) и таблицы включения контакторов (б) троллейбуса 9Тр

Режим	Номер позиции	Номер контактора											Сопротивление, Ом	
		21	26	31	32	33	34	35	36	37	25	пусковой реостат	шунтирующее	тормозное реостат
Пуск	1	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	3,87	•	•
	2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	2,88	•	•
	3	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	2,25	•	•
	4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1,72	•	•
	5	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1,286	•	•
	6	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0,937	•	•
	7	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0,558	•	•
	8	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0,244	•	•
Ослабление возбуждения	9	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0	•	•
	10	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0	0,043	•
	11	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0	0,022	•
Торможение	1	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	3,795
	2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	2,895
	3	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	2,175
	4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1,645
	5	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1,211
	6	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0,852
	7	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0,483

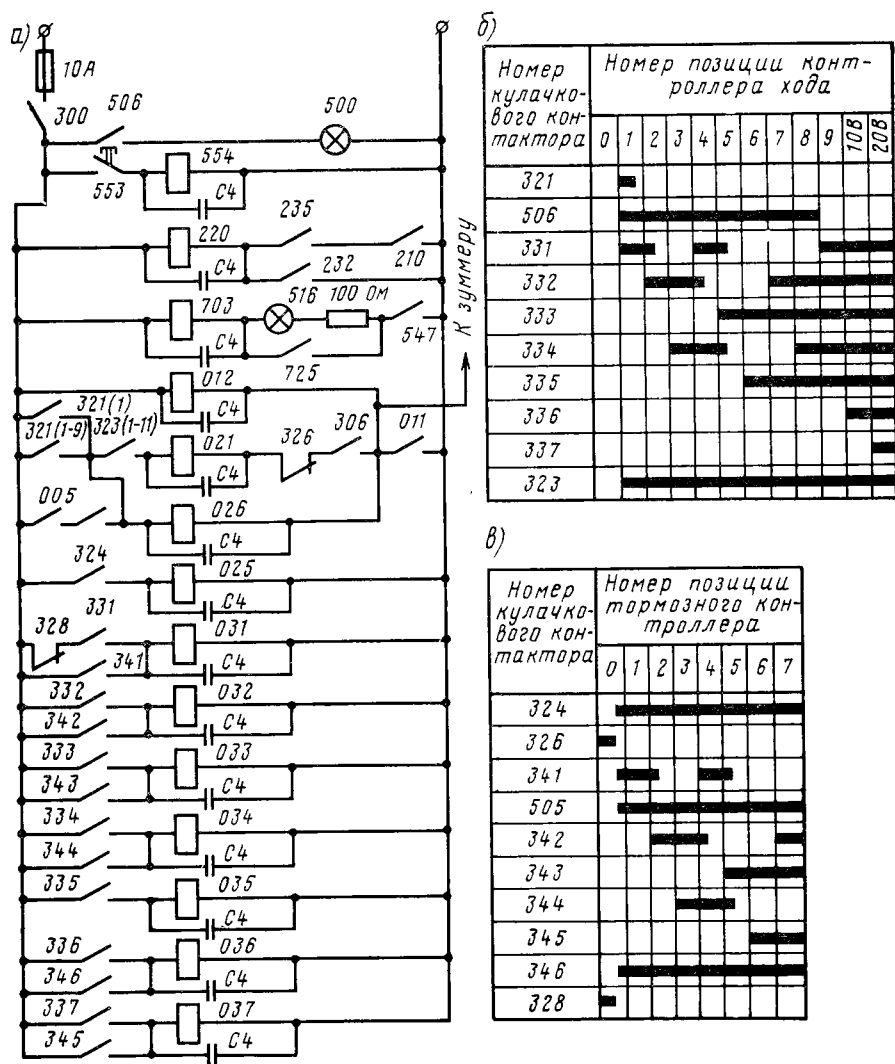
тора 031, а кулачковый контактор 506 включает контрольную лампу 500, установленную на приборном щитке водителя и работающую только на пусковых позициях. Таким образом, на 1-й пусковой позиции включены линейный контактор 021 и силовые контакторы 026 и 031. На последующих позициях кулачковые контакторы включаются и выключаются согласно развертке ходового барабана (см. рис. 79, б) и таблице включения контакторов (рис. 78, б). На 1-й позиции ток идет по силовой цепи (см. рис. 78, а): контактный провод положительной полярности, токоприемник Т1, контакты линейного контактора 021, катушка электромагнитной муфты ЭМ, последовательная обмотка возбуждения С11—С21 двигателя, контакты контактора 026, пусковой реостат G—E, контакты контактора 031, амперметр А и параллельно включенный шунт, пальцы реверсора В1, обмотка дополнительных полюсов и обмотка якоря тягового двигателя Я11—Я21, пальцы реверсора В2, силовые контакты автоматического выключателя 011, токоприемник Т2, контактный провод отрицательной полярности. На 1-й позиции в цепь тягового двигателя введен пусковой реостат сопротивлением 3,87 Ом.

На 2-й позиции контроллера хода кулачковый контактор 331 (см. рис. 79, б) размыкается, а кулачковый контактор 332 замыкается. В силовой цепи (см. рис. 78, а) отключается реостатный контактор 031 и включается реостатный контактор 032. В результате этого из цепи тягового двигателя выводится часть пускового реостата (X—E). На 2-й позиции в цепи двигателя сопротивление пускового реостата уменьшается до 2,88 Ом.

На последующих позициях включение и выключение реостатных контакторов происходит согласно таблице (см. рис. 78, б). Сопротивление пускового реостата плавно уменьшается, а скорость троллейбуса увеличивается. Прохождение электрического тока по пусковому и регулировочному реостатам с 1-й по 11-ю позицию показано на рис. 80. На 9-й позиции ходовой педали пусковой реостат выведен (гаснет контрольная лампочка 500 на пульте управления водителя) и двигатель начинает работать по автоматической характеристике полного возбуждения. На 10-й и 11-й позициях увеличение скорости движения троллейбуса происходит за счет ослабления возбуждения. На 10-й позиции ослабление возбуждения происходит на 35% и на 11-й на 54%. Наибольшая допустимая скорость движения троллейбуса с нормальной нагрузкой на горизонтальной дороге 60 км/ч. Ускорение троллейбуса при полной нагрузке и номинальном напряжении в контактной сети 1,5 м/с².

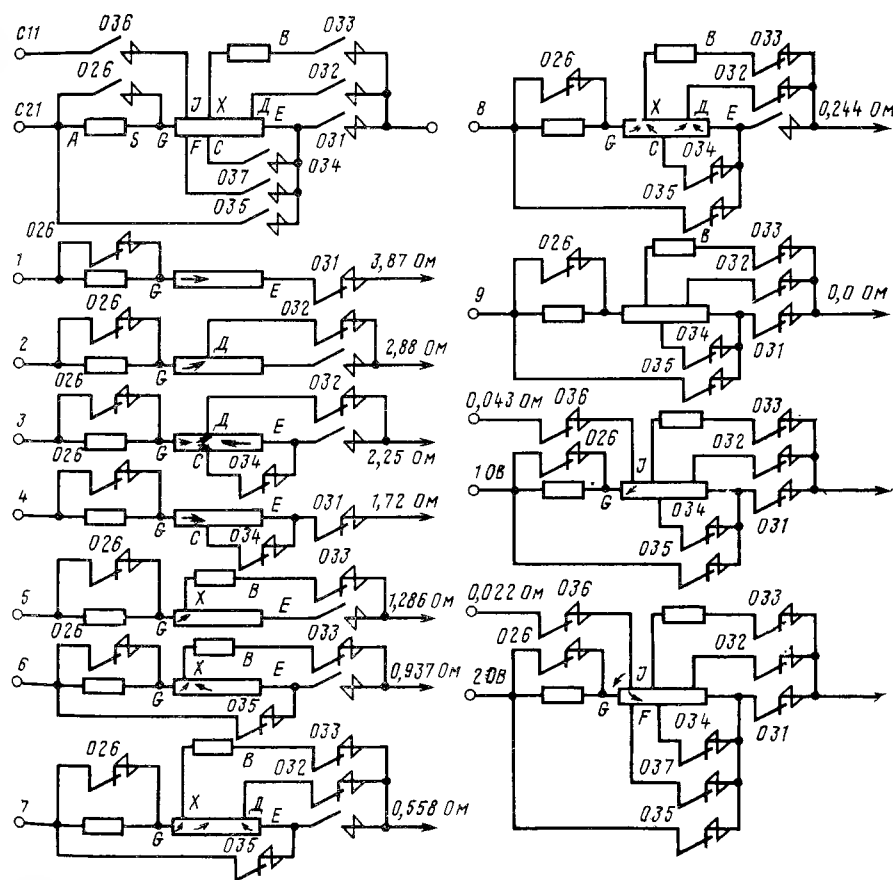
Электрическое торможение. При электрическом (реостатном) торможении двигатель работает в режиме генератора, а вырабатываемая им энергия гасится в тормозном реостате. В тормозном режиме направление тока в обмотке якоря меняется, а в обмотке возбуждения сохраняется прежним. Троллейбус 9Тр имеет 7 ступеней электрического торможения. Замыкание кулачковых контакторов тормозного контроллера на тормозных позициях проис-

На 1-м положении тормозной педали размыкаются кулачковые контакторы тормозного контроллера 326 и 328 (см. рис. 79, в), а замыкаются 324, 341, 346, 505. При этом включаются силовые контакторы 025, 031, 036 (см. рис. 78) и фонари стоп-сигналов 511.



148

Если электрическое торможение происходит на больших скоростях, то с увеличением напряжения на зажимах двигателя более



149

600 В срабатывает тормозное реле 005 (см. рис. 78), подключенное параллельно якорю двигателя. В этом случае контакты тормозного реле 005 в цепи управления включают питание втягивающей катушки контактора 026. При включении контактора 026 ток в обмотке возбуждения уменьшается (см. позиции 1 ОВ и 2 ОВ на рис. 81), а следовательно, уменьшаются напряжение и тормозное усилие, развиваемые двигателем в генераторном режиме. В конце торможения электрический тормоз комбинируется с механическим тормозом, имеющим пневматический привод.

Защита электрооборудования. Для защиты электрооборудования от короткого замыкания на троллейбусе 9Тр предусмотрен автоматический выключатель типа 2НА-1, который устанавливается на контактной панели. Он отключает силовую цепь от контактной сети при увеличении тока в силовой цепи свыше 450 А. Защиту тягового электродвигателя от перегрузки осуществляет порошковая электромагнитная муфта ЭМ, токовая катушка которой включена в силовую цепь. Электромагнитная муфта блокирует вращение кулачкового вала ходового контроллера при токе в силовой цепи, превышающем 330 А.

В период электрического торможения на больших скоростях напряжение на якоре тягового двигателя может значительно повыситься, что приведет к резкому увеличению тормозной силы. Для

предупреждения этого в электрическую схему введено тормозное реле 005 типа RP47-D (см. п. 25).

Для сигнализации о потере напряжения в контактной сети или о сходе токоприемников с контактных проводов предназначено реле нулевого напряжения типа RP47-D, применяемое на троллейбусе 9Тр. Катушка реле 07 (см. рис. 78) включена через резистор 15 кОм между токоприемниками Т1 и Т2 в цепь контактора 012 и защищена плавким предохранителем (10 А). При исчезновении напряжения на токоприемниках цепь питания катушки реле напряжения прерывается, и контакты реле 07 включаются и замыкают цепь зуммера. О появлении напряжения в контактной сети водитель убеждается, отключая и повторно включая автоматический выключатель 011. Выключатель 545 зуммера должен быть постоянно включен при движении троллейбуса.

36. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ТРОЛЛЕЙБУСА ЗиУ-9

На троллейбусе ЗиУ-9 установлен тяговый электродвигатель с кремнийорганической изоляцией ДК-210А-3 мощностью 110 кВт. Он имеет смешанное возбуждение с преобладанием магнитного поля последовательной обмотки возбуждения. Его скоростная характеристика (см. рис. 2, а) при полном возбуждении пересекает ось ординат при скорости около 43 км/ч. Это позволяет проводить повторные пуски при полном возбуждении, не опасаясь рекуперативного торможения.

Выводятся ступени пускового реостата и ступени регулировочного реостата ослабления возбуждения последовательной обмотки с помощью группового реостатного контроллера ЭКГ-20Б. Реостатный контроллер имеет 12 силовых кулачковых контакторов КЭ-52 (КЭ-61), 8 кулачковых контакторов КЭ-42, включенных в цепь управления, и один переключающий кулачковый контактор КЭ-54 с контактами РКМ, которые замыкаются между позициями, и РКП, замыкающимися на позициях. Реостатный контроллер имеет 18 позиций и серводвигательный привод с двумя обмотками возбуждения: одна обмотка работает при пуске «Вперед», другая — при возвращении вала реостатного контроллера на первое положение «Назад».

В электрической схеме работа силовых контакторов предусматривается только на замыкание, поэтому силовые контакторы выполнены без дугогашения. При электрическом реостатном торможении троллейбуса реостатный контроллер не используется. Для гашения энергии при электрическом реостатном торможении используют отдельный нерегулируемый резистор, поэтому реостатное торможение можно осуществлять, не дожидаясь возвращения реостатного контроллера на 1-ю позицию. Этот резистор применяют также в начале пуска для снижения вращающего момента на валу якоря тягового электродвигателя при выборе люфтов в механической передаче.

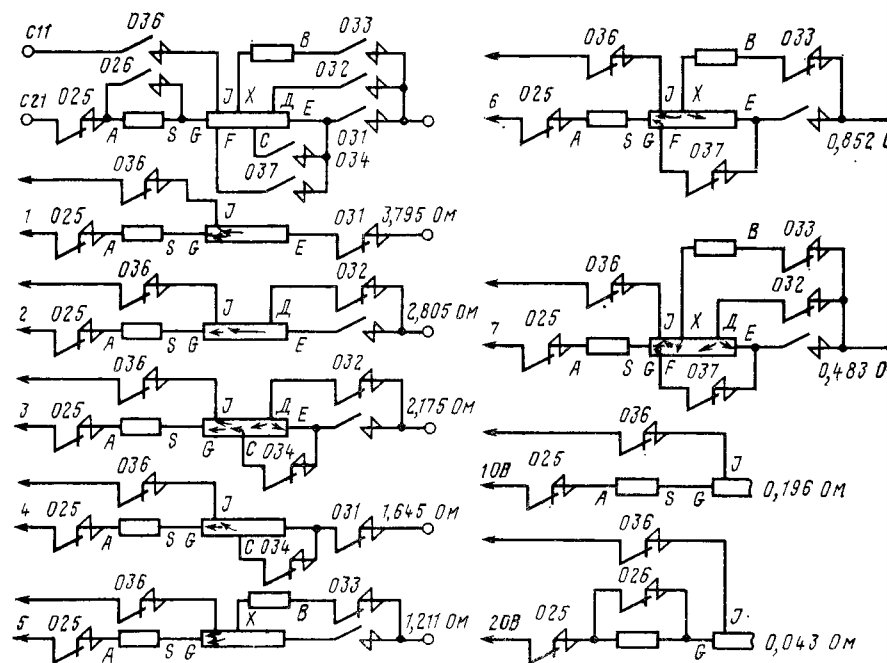
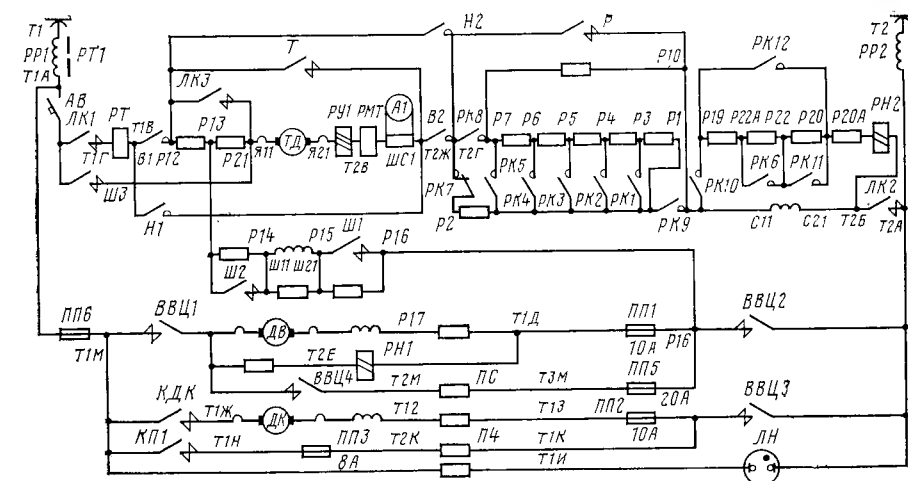


Рис. 81. Схема прохождения тока по силовой цепи троллейбуса 9Тр при тормозном режиме



Режим	Положение педалей	Номер по- зиции РК	Контактор						Номер кулачкового эле- мента реостатного контроллера РК												Сопротив- ление, Ом, цепи		Возбуж- дение последо- вательной обмотки, %	
			ЛК1	ЛК2	ЛК3	Р	Т	Ш1	Ш2	Ш3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		сило- вой
Манев- ровый	Манев- ровое	1а	•	•			•									•						6,160	48	100
		1	•	•	•		•									•						4,308	48	100
Пуск	I _x	2	•	•	•		•			•						•						3,308	48	100
		3	•	•	•		•			•	•					•						2,488	48	100
		4	•	•	•		•			•	•	•				•						1,848	48	100
		5	•	•	•		•			•	•	•	•			•						1,540	48	100
		6	•	•	•		•			•	•	•	•	•		•						1,232	48	100
		7	•	•	•		•			•	•	•	•	•	•	•						0,924	48	100
		8	•	•	•		•			•	•	•	•	•	•	•	•					0,710	48	100
		9	•	•	•		•			•	•	•	•	•	•	•	•	•				0,532	48	100
		10	•	•	•		•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			0,370	48	100
		11	•	•	•		•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		0,231	48	100
		12	•	•	•		•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0,136	48	100
		13	•	•	•	•	•		•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0	48	100
		Ослабление возбужде- ния	I _x	14	•	•	•	•	•				•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0
15	•			•	•	•	•					•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0	668	72
16	•			•	•	•	•						•	•	•	•	•	•	•	•	•	0	668	53
17	•			•	•	•	•							•	•	•	•	•	•	•	•	0	668	40
18	•			•	•	•	•								•	•	•	•	•	•	•	0	668	30
Тормо- жение	0	1					•	•	•													1,87	48	0
		2					•	•	•	•													1,87	0

Рис. 82. Принципиальная электрическая схема цепей напряжением 550 В и таблица включения контакторов троллейбуса ЗиУ-9

Силовая цепь при тяговом и тормозном режимах тягового двигателя включается пятью контакторами КПП-113. Переключения в параллельной обмотке возбуждения тягового двигателя выполняются контакторами КПД-110.

Автоматический пуск троллейбуса осуществляется под контролем реле ускорения Р-52Б, которое имеет три катушки — основную намагничивающую, включенную в цепь якоря тягового двигателя, регулировочную и подъемную (подмагничивающую), включенные в цепь управления. Катушки включены согласно.

Режим работы троллейбуса задается с помощью контроллера управления КВП-22Б, который имеет нулевое, маневровое и три ходовых положения. Электрические цепи троллейбуса позволяют осуществлять следующие режимы работы: движение на маневровом положении, нормальный автоматический разгон, движение с различными скоростями, реверсирование, электрическое торможение с регулировкой тормозного усилия. Выход на любую фиксированную позицию, заданную контроллером управления, происходит под контролем реле ускорения.

Водитель в зависимости от условий движения имеет возможность выполнять автоматический пуск троллейбуса с различным ускорением.

Подготовка схемы к работе. Рассмотрим работу электрических цепей троллейбуса, используя электрическую схему и таблицу включения контакторов (рис. 82), схему цепи управления (рис. 83). Перед приведением схемы в рабочее состояние включают аккумуляторную батарею выключателем А2 (см. рис. 132), цепь управления — выключателем ВУ1 и при нажатой кнопке ПС1 проверяют порядок включения контакторов (секвен-

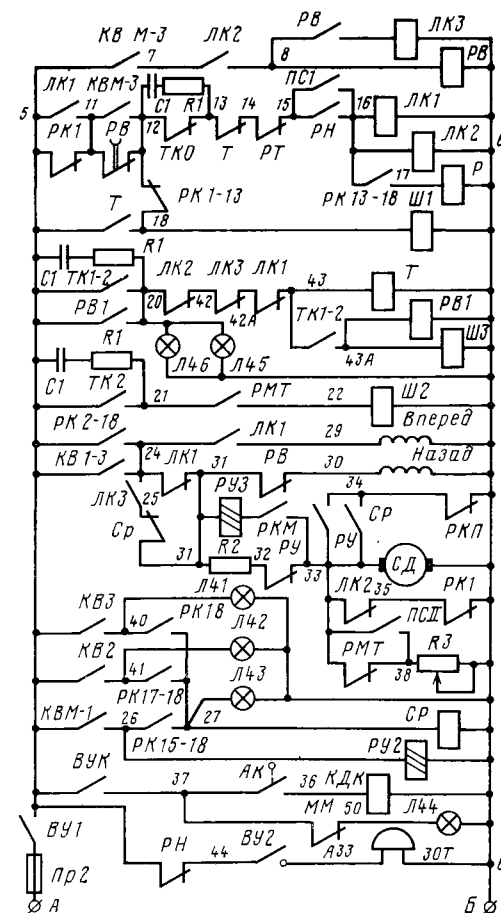


Рис. 83. Принципиальная электрическая схема цепи управления троллейбуса ЗиУ-9

цию) и работу электропривода реостатного контроллера. Далее выполняют следующие операции для подготовки схемы к работе: устанавливают токоприемники *T1* и *T2* на контактные провода; выключателями *ВВЦ1* и *ВВЦ2* включают цепь вспомогательного двигателя *ДВ*, при этом реле нулевое, сработав, замкнет контакты *РН* в цепи втягивающих катушек линейных контакторов *ЛК1* и *ЛК2* и разомкнет контакт *РН* в цепи звонка *ЗОТ*; выключателем *ВУ2* включают в цепь звуковой сигнализации отсутствия напряжения в контактной сети (*ЗОТ*); выключателями *ВУК* и *ВВЦ3* включают цепь двигателя компрессора *ДК* и выключателем *А1* — цепь электропривода усилителя руля (*ЭУР*) (см. рис. 132). После наполнения компрессором пневмосистемы воздухом устанавливают рукоятку реверсора в положение, соответствующее намеченному направлению движения («Вперед» или «Назад»).

При необходимости включают электропечи салона и кабины выключателями *В8*, *В28* и *ВВЦ4*; а в вечернее время — освещение салона, подножек, габаритные и маршрутные указатели.

Затем включают автоматический выключатель *АВ* и троллейбус готов к движению.

Автоматический пуск и регулирование скорости. Пуск и автоматический разгон двигателя осуществляют нажатием ходовой педали контроллера управления с установкой ее на любое положение, характеризующее конечную скорость движения троллейбуса.

При установке ходовой педали на маневровое положение реостатный контроллер остается на 1-й позиции. В цепи управления замыкаются кулачковые контакторы контроллера хода *КВМ-3* в проводах 5—7 (см. рис. 83), *КВМ-3* в проводах 11—12 и *КВМ-1* в проводах 5—26. По цепи: плавкий предохранитель *Пр2* — выключатель управления *ВУ1* — провод 5 — кулачковый контактор реостатного контроллера *РК1* — провод 11 — кулачковый контактор *КВМ-3* — провод 12 — кулачковый контактор тормозного контроллера *ТКО* — провод 13 — размыкающий контакт контактора *T* — провод 14 — размыкающий контакт реле перегрузки *РТ* — провод 15 — замыкающий контакт реле нулевого *РН* — провод 16 получают питание втягивающие катушки линейных контакторов *ЛК1* и *ЛК2*. Одновременно по цепи провод 12 — кулачковый контактор *РК1* — 13 — провод 18 получает питание втягивающая катушка контактора *Ш1*. И по цепи кулачковый контактор *КВМ-1* — провод 26 ток идет в регулировочную катушку реле ускорения *РУ2*.

При включении линейных контакторов *ЛК1* и *ЛК2* (см. рис. 82) в силовой цепи ток идет: от токоприемника *T1* через реактор помехоподавления *РР1*, автоматический выключатель *АВ*, силовые контакты контактора *ЛК1*, катушку реле перегрузки *РТ*, контакты реверсора *В1*, тормозной реостат *Р12—Р13—Р21*, обмотку возбуждения дополнительных полюсов и якорь тягового двигателя *ТД*, силовую катушку реле ускорения *РУ1*, катушку реле минимального тока *РМТ*, шунт *ШС1* амперметра *А*, контакты реверсора *В2*, силовые контакты реостатного контроллера *РК7*, пусковой реостат *Р2—Р1—Р3—Р4—Р5—Р6—Р7—Р10*, обмотку последовательного

возбуждения тягового двигателя *С11—С21*, силовые контакты контактора *ЛК2*, реактор *РР2* и, наконец, токоприемник *T2*.

Ток по параллельной обмотке возбуждения тягового двигателя идет: от токоприемника *T1* (по ранее рассмотренной цепи *РР1—АВ—ЛК1—РТ—В1—Р12—Р13*), далее через регулировочный реостат *Р13—Р14*, обмотку параллельного возбуждения *Ш11—Ш21*, контакты контактора *Ш1*, выключатель *ВВЦ2*, реактор *РР2* и затем токоприемник *T2*. Одновременно ток идет через разрядный резистор *Р14—Р15*, подключенный параллельно обмотке возбуждения *Ш1—Ш2*. В цепи якоря тягового двигателя будет небольшой ток (сопротивление реостата составляет 6,482 Ом) и двигатель создает вращающий момент на валу порядка 220—230 Н·м, достаточный для выбора люфтов в механической передаче, но неспособный сдвинуть троллейбус с места.

Одновременно с включением контакторов *ЛК1* и *ЛК2* замыкаются их блок-контакты: *ЛК1* в проводах 5—11 (см. рис. 83) шунтирует кулачковый контактор *РК1*, а *ЛК2* в проводах 7—8 замыкает цепь питания катушки реле времени *РВ*.

Реле времени в отличие от ранее рассмотренных реле имеет медный или алюминиевый демпфер (цилиндр), установленный на его магнитопроводе. Вследствие того что при замыкании цепи катушки реле в демпфере будут индуцироваться вихревые токи, они будут препятствовать быстрому увеличению магнитного потока и якорь будет притягиваться к сердечнику не сразу после включения катушки реле, а через некоторое время. После отключения катушки в демпфере в течение некоторого времени также будет циркулировать ток, наводимый магнитным потоком и препятствующий уменьшению магнитного потока реле. Поэтому якорь будет отпадать от сердечника также с некоторой выдержкой времени.

После прохождения тока по катушке реле времени спустя 0,6—0,7 с контакты реле времени *РВ* в проводах 8—9 замыкаются и включают втягивающую катушку контактора *ЛК3*. Линейный контактор *ЛК3* (см. рис. 82) включается и выводит из цепи якоря тягового двигателя тормозной реостат *Р12—Р13—Р21*. Сопротивление реостата, включенного в силовую цепь, снизится до 4,612 Ом и вращающий момент тягового двигателя будет достаточен для маневровой работы троллейбуса. Маневровая позиция контроллера хода предназначена для работы троллейбуса в парке или в местах скопления транспорта при движении со скоростью 8—10 км/ч.

При установке пусковой педали на 1-е ходовое положение (*X1*) замыкается кулачковый контактор *КВ1-3* в проводах 5—24 (см. рис. 83) и включает цепь серводвигателя *СД*. Якорь серводвигателя получает питание по цепи: провод 5 — кулачковый контактор *КВ1-3* — провод 24 — блок-контакт контактора *ЛК3* — размыкающий контакт стоп-реле *СР* — провод 31 — резистор *Р2* — провод 32 — размыкающий контакт реле ускорения *РУ* — провод 33. Обмотка возбуждения серводвигателя «Вперед» получает питание по

цепи: кулачковый контактор *KB1-3* - провод 24 — блок-контакт контактора *ЛК1* — провод 29.

Серводвигатель через редуктор поворачивает вал реостатного контроллера на 2-ю, 3-ю и последующие позиции, постепенно выводя пусковой реостат из цепи тягового двигателя. При этом напряжение на тяговом двигателе, а следовательно, и скорость движения троллейбуса увеличиваются.

На 2-й позиции замыкается силовой кулачковый контактор реостатного контроллера *РК1* (см. рис. 82) и из цепи тягового двигателя выводится ступень *Р1—Р3*, сопротивление пускового реостата уменьшается до 3,382 Ом. С 3-й по 7-ю позицию поочередно замыкаются кулачковые контакторы *РК2*, *РК3*, *РК4*, *РК5*, *РК8* и соответственно выводят ступени *Р3—Р4*, *Р4—Р5*, *Р5—Р6*, *Р6—Р7*, *Р2—Р1*. Сопротивление реостата снижается при этом соответственно до значений 2,55, 1,912, 1,572, 1,232, 0,924 Ом. На 8-й позиции реостатного контроллера кулачковый контактор *РК7* размыкается, а *РК9* замыкается, включая параллельно ступени *Р7—Р10* и *Р7—Р1*. Сопротивление реостата уменьшается до 0,725 Ом.

С 9-й по 11-ю позицию реостатного контроллера поочередно замыкаются кулачковые контакторы *РК2*, *РК3*, *РК4* и шунтируют соответственно ступени *Р4—Р1*, *Р5—Р1*, *Р6—Р1*. Сопротивление реостата будет соответственно 0,543; 0,391; 0,248 Ом. На 12-й позиции снова замыкается кулачковый контактор *РК7*, подключая параллельно ступень *Р2—Р1*. Ток через пусковой реостат идет по трем параллельным ветвям и сопротивление реостата составляет 0,138 Ом. На 13-й позиции в цепи управления замыкается кулачковый контактор реостатного контроллера *РК13-18* в проводах 16—17 и включает цепь втягивающей катушки линейного контактора *Р*. При включении линейного контактора *Р* пусковой реостат полностью выводится из силовой цепи согласно таблице включения контакторов (см. рис. 82) и тяговый двигатель начинает работать по автоматической характеристике с полным возбуждением.

На 14-й позиции размыкается кулачковый контактор реостатного контроллера *РК1-13* (см. рис. 83) в проводах 12—18 цепи управления и отключает втягивающую катушку контактора *Ш1*. При этом в цепь параллельной обмотки возбуждения тягового двигателя вводится резистор *Р15—Р16* (см. рис. 82) сопротивлением 400 Ом и ток в этой цепи снижается с 1,67 до 0,3 А, создается первая ступень ослабления возбуждения тягового двигателя, вследствие чего скорость движения троллейбуса увеличивается.

На 15-й позиции реостатного контроллера замыкается силовой кулачковый контактор *РК10*, подключая параллельно последовательной обмотке возбуждения *С11—С21* регулировочный реостат *Р19—Р20А* и последовательно включенную с ним токовую катушку *РН2*. Происходит ослабление возбуждения последовательной обмотки тягового двигателя на 28%.

Пятнадцатая позиция реостатного контроллера является первой фиксированной ходовой позицией, соответствующей 1-му ходовому положению педали контроллера управления. При подходе

кулачкового вала реостатного контроллера к этой позиции замыкается кулачковый контактор *РК15—18* в проводах 26—27 (см. рис. 83) цепи управления и включает катушку стоп-реле *СР*. Размыкающие контакты стоп-реле *РС* в проводах 25—31 отключают питание якоря серводвигателя *СД*, а вторая пара его контактов в проводах 33—34 замкнется, образуя тормозной контур для якоря серводвигателя через замкнутый на позициях переключающий кулачковый контактор реостатного контроллера *РКП*. Серводвигатель, замкнутый накоротко, остановится, фиксируя кулачковый вал реостатного контроллера на 15-й позиции.

Для увеличения скорости троллейбуса следует установить пусковую педаль на 2-е или 3-е ходовое положение.

На 2-м ходовом положении педали замыкается кулачковый контактор *KB2* контроллера хода в проводах 5—41 цепи управления и размыкается кулачковый контактор *KBМ-1* в проводах 5—26, разрывая цепь питания катушки стоп-реле *СР*. Контакты *СР* реле в проводах 33—34 размыкаются, а контакты *СР* в проводах 25—31 замыкаются, включая питание якоря серводвигателя, и вал реостатного контроллера повернется на 16-ю и 17-ю позиции. На этих позициях вначале замыкается силовой кулачковый контактор *РК6* (см. рис. 82), а затем *РК11*, выводя из регулировочного реостата резисторы *Р22А—Р22*, затем *Р22—Р20*. Происходит ослабление возбуждения тягового двигателя сначала на 47%, а затем на 60%. На 17-й позиции замыкается кулачковый контактор *РК17—18* в проводах 41—27 (см. рис. 83) цепи управления и включается цепь питания катушки стоп-реле *СР*. Эта фиксированная позиция реостатного контроллера соответствует 2-му ходовому положению педали.

При установке пусковой педали на 3-е ходовое положение замыкается кулачковый контактор *KB3* в проводах 5—40 цепи управления и размыкается кулачковый контактор *KB2* в проводах 5—41, отключая питание катушки стоп-реле *СР*. Контакты *СР* в проводах 25—31 вновь замыкаются и вал реостатного контроллера поворачивается на 18-ю позицию.

На 18-й позиции замыкается силовой кулачковый контактор *РК12* (см. рис. 82), шунтируя ступени *Р19—Р22А—Р22—Р20* регулировочного реостата. Происходит ослабление последовательного возбуждения двигателя на 69%. Эта позиция соответствует 3-му ходовому положению педали. Кулачковый контактор *РК18* (см. рис. 83) в проводах 40—27 цепи управления включает катушку стоп-реле *СР* и вал реостатного контроллера останавливается.

Частоту вращения вала реостатного контроллера регулирует реле ускорения. На 1-м ходовом положении реле ускорения поддерживает минимальное значение тока в тяговом двигателе около 150—170 А, вследствие того что на этом положении согласно с силовой катушкой реле ускорения *РУ1* действует регулировочная катушка *РУ2*, создавая дополнительный магнитный поток и способствуя удержанию якоря реле ускорения в притянутом состоянии при относительно небольшом токе двигателя.

При повороте вала реостатного контроллера в промежутке между позициями параллельно резистору $R2$ (см. рис. 83) переключающими контактами $РКМ$ включается подъемная катушка реле ускорения $РУ3$.

С выводением пускового реостата ток в цепи тягового двигателя, а следовательно, в силовой катушке $РУ1$ увеличивается. Если ток превысит уставку реле ускорения, то при совместном действии намагничивающих сил катушек $РУ1$, $РУ2$ и $РУ3$ якорь реле притянется к сердечнику, контакты $РУ$ в проводах 32—33 разомкнутся и отключат питание якоря серводвигателя, а контакты $РУ$ в проводах 33—34 замкнутся и через контакты кулачкового контактора $РКП$, который включается только на позициях, замкнут якорь серводвигателя накоротко. Так как обмотка возбуждения серводвигателя «Вперед» продолжает получать питание, то серводвигатель переходит в тормозной режим и быстро останавливается, фиксируя вал реостатного контроллера на позиции. На фиксированной позиции катушка $РУ3$ не получает питания (контакт $РКМ$ разомкнут), а якорь реле ускорения удерживается в притянутом состоянии магнитным потоком катушек $РУ1$ и $РУ2$. При увеличении скорости троллейбуса ток тягового двигателя снижается и становится меньше тока уставки реле ускорения, якорь реле под действием пружины отходит от магнитопровода и контакты $РУ$ в проводах 32—33 снова замыкаются и включают серводвигатель. Вал реостатного контроллера поворачивается на следующую позицию, выводя следующую ступень пускового реостата.

В зависимости от условий движения, числа пассажиров в салоне и состояния дорожного покрытия пуск троллейбуса можно осуществлять с различным ускорением. Наименьшее ускорение на 1-м ходовом положении, на котором включена регулировочная катушка реле ускорения $РУ2$, и пуск осуществляются при токе 150—170 А. Если после маневрового положения перевести ходовую педаль на 2-е или 3-е ходовое положение, минуя 1-е, кулачковый контактор $КВМ-1$ в проводах 5—26 цепи управления разомкнется и отключит регулировочную катушку реле ускорения $РУ2$. Ток регулирования реле ускорения становится 250—280 А. При этом пуск троллейбуса будет происходить с большим ускорением.

Наибольшая допустимая скорость троллейбуса с нормальной нагрузкой на горизонтальном участке дороги 68 км/ч. Среднее ускорение при нормальной нагрузке и напряжении в контактной сети 550 В на горизонтальной площадке при разгоне составляет 1,3 м/с².

Во время пуска троллейбуса водитель может постепенно переводить педаль контроллера хода или сразу ставить ее в выбранное положение, например, 3-е.

Отключение силовой цепи и выбег. При отпуске ходовой педали в нулевое положение выключаются все кулачковые контакторы $КВ$ контроллера хода. Сначала снимается напряжение с втягивающей катушки контактора $ЛК3$ (см. рис. 83) и

катушки реле времени $РВ$. При выключении контактора $ЛК3$ (см. рис. 82) в цепь якоря тягового двигателя вводится тормозной реостат $Р12—Р13—Р21$. Через 0,5—0,7 с после отключения контактора $ЛК3$ контактами реле времени $РВ$ в проводах 11—12 (см. рис. 83) цепи управления выключаются втягивающие катушки контакторов $ЛК1$, $ЛК2$, $Р$ и контакторы $ЛК1$ и $ЛК2$ отключают силовую цепь. Таким образом, перед отключением тягового двигателя от контактной сети предварительно вводится резистор, снижающий ток. При этом облегчается гашение дуги на контактах контакторов $ЛК1$ и $ЛК2$ и обеспечивается более плавный переход с тяги на выбег. Это особенно важно при переходе на выбег во время пуска троллейбуса, когда ускорение меняется от максимального до некоторого отрицательного значения, определяемого сопротивлением движению.

После выключения контакторов $ЛК1$ и $ЛК2$ блок-контакты $ЛК1$ (см. рис. 83) в проводах 24—29 цепи управления разрывают цепь питания обмотки возбуждения серводвигателя «Вперед», а блок-контакты $ЛК1$ в проводах 24—31 замыкают цепь питания обмотки возбуждения серводвигателя «Назад». Якорь серводвигателя получает питание по цепи: провод 5 — кулачковый контактор — $РК2-18$ — провод 24 — размыкающие блок-контакты $ЛК1$ — провод 31 — резистор $R2$ — провод 32 — контакты $РУ$ — провод 33. Обмотка возбуждения серводвигателя «Назад» получает питание по цепи: провод 5 — $РК2-18$ — провод 24 — блок-контакты $ЛК1$ — провод 31 — размыкающие контакты реле времени $РВ$ — провод 30. Вал реостатного контроллера возвращается на 1-ю позицию. Когда вал реостатного контроллера подходит к 1-й позиции, размыкаются контакты кулачкового контактора $РК2-18$ в проводах 5—24, отключающие питание якоря и обмотки возбуждения «Назад» серводвигателя. Замыкается кулачковый контактор $РК1$ в проводах 35—6, и якорь серводвигателя замыкается накоротко через блок-контакты $ЛК2$ в проводах 33—35 и контакты $РК1$. Вал реостатного контроллера фиксируется на 1-й позиции.

При возврате вала реостатного контроллера на 1-ю позицию якорь серводвигателя не шунтирован резистором $R3$, так как контакты реле минимального тока $РМТ$ в проводах 33—38 разомкнуты. Поэтому частота вращения вала реостатного контроллера назад выше, чем при пуске троллейбуса с остановки, т. е. обеспечивается ускоренный возврат вала реостатного контроллера на исходное положение.

Электрическое торможение (реостатное). Во время электрического торможения тяговый двигатель работает в генераторном режиме, а вырабатываемая им электроэнергия гасится в тормозном реостате. Электрическая схема троллейбуса предусматривает две позиции служебного реостатного торможения.

После установки тормозной педали контроллера управления на 1-е положение (см. рис. 83) размыкается кулачковый контактор $ТК0$ и замыкается кулачковый контактор $ТК1-2$. Если торможение производится после выбега, то размыкание контактов кулач-

кового контактора *ТК0* в проводах 12—13 цепи управления не вносит в электрическую схему никаких изменений. Если же тормозная педаль была нажата при ходовом режиме, то размыкание контактов кулачкового контактора *ТК0* приведет к отключению линейных контакторов *ЛК1*, *ЛК2* и *Р*. В результате силовая цепь тягового двигателя отключается от контактной сети, и вал реостатного контроллера возвращается на 1-ю позицию.

Контакты кулачкового контактора *ТК1-2* в проводах 5—20 цепи управления включают цепи питания втягивающих катушек контакторов *Т*, *Ш3* и реле времени *РВ1*. Питание на втягивающую катушку контактора *Т* поступает через контакты *ТК1-2* в проводах 5—20, размыкающие блок-контакты контакторов *ЛК2*, *ЛК3*, *ЛК1* и провод 43, а на катушки контактора *Ш3* и реле времени *РВ1* через контакты кулачкового контактора *ТК1-2* в проводах 43А-43. Одновременно в проводах 20—6 включаются лампы стоп-сигнала *Л45* и *Л46*.

При включении контактор *Т* (см. рис. 82) силовыми контактами замыкает цепь якоря тягового двигателя на тормозной реостат *Р12—Р13—Р21*, а блок-контактами *Т* в проводах 5—18 (см. рис. 83) цепи управления включает питание втягивающей катушки контактора *Ш1*. Ток в параллельную обмотку возбуждения тягового двигателя идет по следующей цепи: токоприемник *Т1* (см. рис. 82) — реактор помехоподавления *РР1* — автоматический выключатель *АВ* — контакты контактора *Ш3* — резисторы *Р21—Р13—Р14* — обмотка возбуждения *Ш11—Ш21* и параллельно включенный ей разрядный резистор *Р14—Р15* — резистор *Р15—Р16* — выключатель *ВВЦ2* — реактор *РР2* — токоприемник *Т2*. Включением контактора *Ш1* выводится резистор *Р15—Р16*, что приводит к увеличению тока возбуждения и тормозного тока. Якорь тягового двигателя вращается под действием механической энергии, запасенной троллейбусом при движении. Обмотка якоря пересекает магнитное поле, создаваемое параллельной обмоткой возбуждения двигателя, и в ней наводится э. д. с. Двигатель переходит в генераторный режим. Происходит торможение троллейбуса. Тормозной ток идет по силовой цепи: от якоря *ТД* через обмотку дополнительных полюсов, тормозной реостат *Р21—Р13—Р12*, контактор *Т*, шунт амперметра *А1*, катушки реле минимального тока *РМТ* и реле ускорения *РУ1*, на якорь тягового двигателя.

Схема электрических цепей троллейбуса обеспечивает зависимость магнитного поля возбуждения от тока в тормозном контуре, так как ток обмотки возбуждения проходит через стабилизирующий резистор *Р21—Р13*. С увеличением тормозного тока увеличивается падение напряжения на этом резисторе и, следовательно, уменьшается ток в параллельной обмотке возбуждения *Ш11—Ш21*. Уменьшение тормозного тока вызывает увеличение возбуждения, т. е. получается такая же зависимость, как у генератора встречно-смешанного возбуждения.

При установке тормозной педали на 2-е положение замыкаются контакты кулачкового контактора *ТК2* в проводах 5—21 (см.

рис. 83) цепи управления и через замкнутый контакт реле минимального тока *РМТ* в проводах 21—22 подается питание на втягивающую катушку контактора *Ш2*. Включением контактора *Ш2* (см. рис. 82) выводится резистор *Р13—Р14* из цепи возбуждения, что увеличивает ток возбуждения и, следовательно, тормозной ток и тормозную силу. Электрическое реостатное торможение позволяет снизить скорость троллейбуса до 5—7 км/ч. При более глубоком нажатии тормозной педали на реостатный тормоз накладывается механический тормоз, имеющий пневматический привод.

После сброса тормозной педали в нулевое положение кулачковые контакторы *ТК1-2* и *ТК2* (см. рис. 83) размыкаются, а *ТК0* замыкается. Сначала снимается напряжение с втягивающих катушек контакторов *Ш2* и *Ш3* и катушки реле времени *РВ1*. Контакт *Ш3* выключается и отключает цепь параллельной обмотки возбуждения. Магнитное поле тягового двигателя исчезает. Через 0,5—0,7 с после выключения катушки реле времени *РВ1* размыкаются контакты реле времени *РВ1* в проводах 5—20, которые шунтируют контакты кулачкового контактора *ТК1-2*, после чего снимается напряжение с втягивающей катушки контактора *Т*. Таким образом, контактор *Т* разрывает уже обесточенный тормозной контур силовой цепи.

Защита электрооборудования. Для защиты электрооборудования троллейбуса от коротких замыканий предусмотрен автоматический выключатель *АВ-8А-1*. Он установлен в общей цепи (см. рис. 82) и выключает силовую цепь при увеличении тока в ней свыше 500 А.

Защиту электрооборудования силовой цепи от перегрузки осуществляет реле максимального тока *РТ* (токовое реле). Катушка максимального токового реле *РТ* введена в силовую цепь, а размыкающие контакты *РТ* (провода 14—15) — в цепь втягивающих катушек линейных контакторов *ЛК1*, *ЛК2* и *Р* (см. рис. 83). Когда ток в силовой цепи станет выше 450 А, якорь реле притянется к сердечнику и контакты *РТ* разомкнутся и отключат контакторы *ЛК1*, *ЛК2* и *Р* от источника питания. Линейные контакторы *ЛК1*, *ЛК2* и *Р* (см. рис. 82) выключаются и отключат силовую цепь от контактной сети. При этом контакты токового реле *РТ* вновь замкнутся, но линейные контакторы *ЛК1* и *ЛК2* повторно включатся лишь после того, как вал реостатного контроллера вернется на 1-ю позицию. Размыкающие блок-контакты контактора *ЛК1* в проводах 24—31 цепи управления включают обмотку возбуждения серводвигателя «Назад» и вал реостатного контроллера вернется в исходное положение.

Для защиты тягового двигателя от толчков тока при кратковременных перерывах питания силовой цепи служит реле нулевого напряжения *РНВ-821*. Оно регулируется на напряжение срабатывания 350—380 В. Основная катушка реле нулевого напряжения *РН1* (см. рис. 82) через дополнительный резистор сопротивлением 7500 Ом подключена к контактной сети и включается выключателями *ВВЦ1* и *ВВЦ2* одновременно с вспомогательным дви-

гателем. Токовая катушка реле *РН2* через регулировочный реостат подключена параллельно последовательной обмотке возбуждения тягового двигателя *С11—С21* и на позициях ослабления возбуждения обеспечивает отключение линейных контакторов за время менее 0,1 с. При нормальном напряжении в контактной сети контакты реле *РН* в проводах *15—16* цепи управления (см. рис. 83) замкнуты и через них питаются втягивающие катушки линейных контакторов *ЛК1*, *ЛК2* и *Р*, а контакты *РН* в проводах *5—44* цепи звонка отрыва токоприемника *ЗОТ* разомкнуты. В случае уменьшения напряжения в контактной сети ниже 350—380 В или отрыва токоприемника от контактного провода якорь реле *РН* отпадает от сердечника и контакты реле *РН* в проводах *15—16* размыкаются, отключая втягивающие катушки контакторов *ЛК1* и *ЛК2*, контакты реле *РН* в проводах *5—44* включают звонок отрыва токоприемника *ЗОТ*. После восстановления напряжения контакты *РН* в проводах *15—16* снова замкнутся, но линейные контакторы *ЛК1* и *ЛК2* не включаются, пока реостатный контроллер не вернется на 1-ю позицию и не включится кулачковый контактор *РК* в проводах *5—11*.

Таким образом, при срабатывании реле *РН*, так же как и при срабатывании реле перегрузки *РТ*, силовая схема собирается только после установки контроллера хода в нулевое и затем в 1-е ходовое положение и возврата вала реостатного контроллера на 1-ю позицию, т. е. после введения в цепь тягового двигателя пусковых реостатов.

Для защиты параллельной обмотки возбуждения тягового двигателя от перегрева, если на остановке тормозная педаль контроллера управления не возвращена в нулевое положение, предусмотрено реле минимального тока *РМТ*. В качестве реле минимального тока на троллейбусе ЗиУ-9 используют реле *РЭВ-830*, которое имеет конструкцию, подобную реле *РЭВ-827*, но в отличие от него имеет одну токовую катушку *РМТ*, включенную в тормозную цепь якоря тягового двигателя. Замыкающие контакты реле минимального тока *РМТ* в проводах *21—22* цепи управления включают питание втягивающей катушки контактора *Ш2* на 2-м тормозном положении педали. При снижении скорости троллейбуса во время реостатного торможения ниже 5—7 км/ч тормозной ток в силовой цепи уменьшается до 10—15 А и реле минимального тока срабатывает (отключается). Его контакты размыкаются и разрывают питающую цепь втягивающей катушки контактора *Ш2*, с выключением которого в цепь обмотки параллельного возбуждения вводится резистор *Р13—Р14*. При этом ток в обмотке возбуждения снижается до значения, соответствующего длительному режиму работы этой обмотки.

ГЛАВА VIII

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ТРАМВАЙНЫХ ВАГОНОВ С КОСВЕННОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

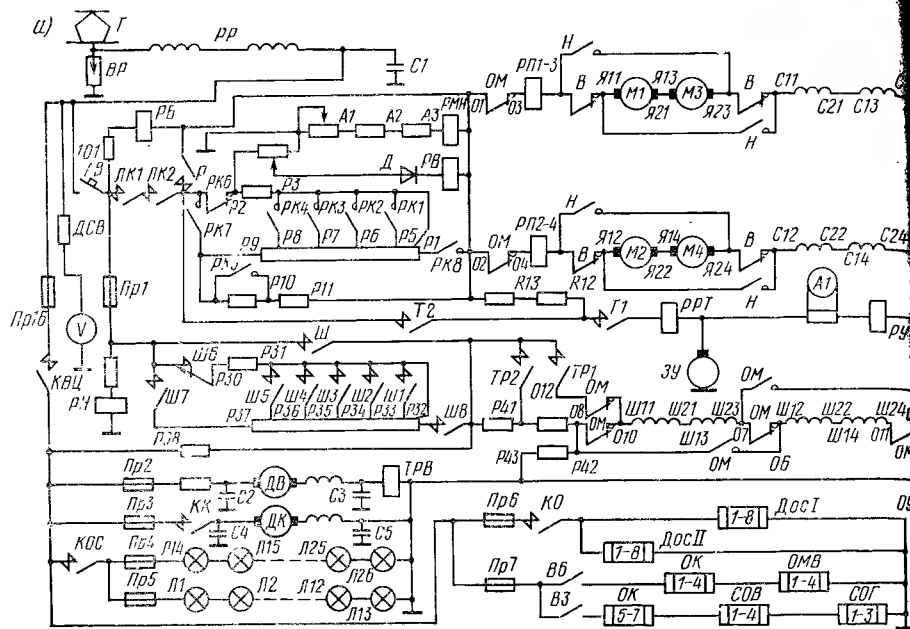
37. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ВАГОНА РВЗ-6М-2

Общие сведения. На вагоне РВЗ-6М-2 установлены четыре тяговых двигателя смешанного возбуждения ДК-259-ГЗ, имеющие постоянное последовательно-параллельное соединение. Вагон оборудован групповой автоматической системой управления. Выведение пускотормозного реостата и ослабление возбуждения тяговых двигателей осуществляются реостатным контроллером ЭКГ-16А. При пуске трамвайного вагона до максимальной скорости используют оба направления вращения вала реостатного контроллера. Во время движения вала реостатного контроллера вперед до 13-й позиции происходит реостатный пуск с выходом на автоматическую характеристику при максимальном возбуждении тяговых двигателей. Во время обратного движения вала реостатного контроллера постепенно ослабляется возбуждение тяговых двигателей и на 1-й позиции реостатного контроллера оно становится минимальным. Направление движения вагона изменяют реверсором с электропневматическим приводом. Реверсор имеет два положения: «Вперед» (В) и «Назад» (Н). Вагон управляется контроллером водителя *КВ* (типа *КВ-34А*), имеющим девять положений: нулевое 0, малевровое *Х1*, три ходовых *Х2*, *Х3*, *Х4*, три тормозных *Т1*, *Т2*, *Т3* и экстренное торможение *ТР* (рис. 84).

Автоматический пуск и реостатное торможение выполняются под контролем реле ускорения и замедления *РУТ* с высоким коэффициентом возврата. Для выбора режима пуска на полном или ослабленном возбуждении предусмотрено реле выбега *РВ*, для уменьшения времени повторного пуска — реле баланса *РБ*.

Электрическая схема допускает возможность рекуперативного торможения при работе одиночного вагона, которое наступает при переводе рукоятки контроллера водителя из положения *Х4* в положения *Х3*, *Х2* или *Х1*. Рекуперативное торможение может быть использовано для снижения скорости движения до 20 км/ч, поэтому чаще используется для торможения при спуске на уклонах.

Реостатное торможение происходит при смешанном возбуждении тяговых двигателей со встречно включенными обмотками возбуждения.



б)

Номер		Замыкание контактных элементов реостатного контроллера при всех режимах																Пуск с остановки				Пуск после вы- езда на пози- ции х4				Сопротивле- ние на пози- ции РК, Ом			
Позиция педали	Позиция РК	РК1	РК2	РК3	РК4	РК5	РК6	РК7	РК8	Ш1	Ш2	Ш3	Ш4	Ш5	Ш6	Ш7	Ш8	ЛК1	ЛК2	Ш	ТР1	ТР2	ЛК1	ЛК2	Ш	ТР1	ТР2	Пуск	Шунт
0	1																											3,12	1,8
1	1																											2,12	1,8
2	2																											1,57	1,8
3	3																											1,22	1,8
4	4																											0,98	1,8
5	5																											0,84	1,8
6	6																											0,87	1,8
7	7																											0,52	1,8
8	8																											0,365	1,8
9	9																											0,269	1,8
10	10																											0,158	1,8
11	11																											0,0833	1,8
12	12																											0	13,44
13	13																											0	13,44
14	12																											0	23,6
15	11																											0	41
16	10																											0	59,3
17	9																											0	88,6
18	8																											0	123,8
19	7																											0	171,8
20	6																											0	221,8
21	5																											0	283,8
22	4																											0	373,8
23	3																											0	623,8
24	2																											0	2123,8
25	1																											0	

Рис. 84. Принципиальная электрическая схема силовой цепи (а) и таблица включения контакторов (б) вагона PB3-6M-2

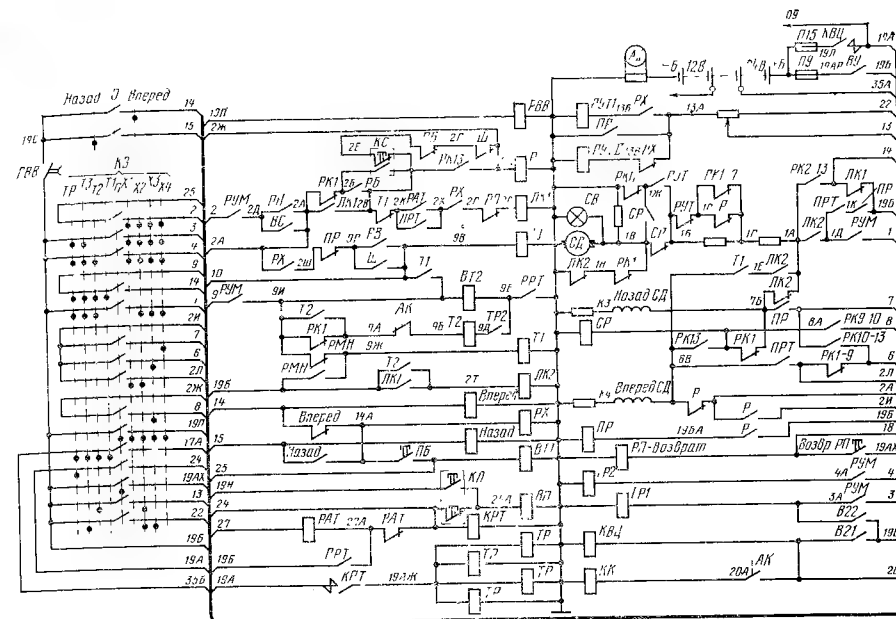


Рис. 85. Принципиальная схема цепей управления вагона PB3-6M-2

На вагоне предусмотрена педаль безопасности ПД, которую водитель удерживает нажатой в течение всего времени движения вагона. Если при потере бдительности или несчастном случае водитель отпустит педаль, то тяговые двигатели отключатся от контактной сети, а электропневматический вентиль ВТ включит механическое торможение вагона. Вентиль ВТ имеет две управляющие катушки ВТ1 и ВТ2. Для оттормаживания механического тормоза достаточно подать питание на одну из катушек (при пуске и выезде включена катушка ВТ1, а при реостатном торможении катушка ВТ2). Катушка вентиль ВТ2 и реле торможения РРТ предназначены для замещения реостатного торможения механическим, например при отказе электротормоза или при малой скорости, когда электроторможение становится неэффективным. Чтобы не произошло наложения механического торможения при установке рукоятки контроллера водителя на тормозные позиции, предусмотрено реле выдержки времени РВВ, отключающее катушку ВТ1 с выдержкой времени 0,4—0,6 с.

Для предотвращения юза движущих колес в случае одновременного действия реостатного и механического торможения служит автоматический выключатель торможения АВТ.

В силовую цепь входят: тяговые двигатели М1—М4, токоприемник Т, реакторы помехоподавления РР, разрядник ВР, автоматический выключатель АВ, контакторы ЛК1, ЛК2, Р, Т1, Т2, Ш, ТР1, ТР2, групповой реостатный контроллер с контакторами

РК1—РК8, Ш1—Ш8, реверсор В—Н, отключатель двигателей ОМ, пусковой реостат Р1—Р12, шунтовой реостат Р30—Р42, реле РВ, РЕ, РП (1—3), РП (2—4), РУТ, РРТ, РМН, РН, ТРВ.

Цепь управления (рис. 85) вагона питается от аккумуляторной батареи напряжением 48 В, которая постоянно подзаряжается через цепи двигатель-вентилятора, двигатель-компрессора, освещения и цепи обмоток параллельного возбуждения. Аккумуляторная батарея защищена плавким предохранителем П15 на 60 А.

Подготовка вагона к пуску. После осмотра оборудования поднимают токоприемник и включают двигатели вентилятора и компрессора. Проверяют работу цепей управления. Правильность работы электрической схемы во всех режимах проверяют по звуку включаемых аппаратов. После отключения электропневматического регулятора давления проверяют работу вентиля ВТ.

Пуск вагона. Пуск вагона осуществляется контроллером водителя. Перед пуском включают автоматический выключатель АВ и нажимают педаль безопасности ПБ. Рукоятку контроллера водителя устанавливают в одно из ходовых положений.

На первом ходовом положении Х1 (маневровом) замкнуты кулачковые контакторы контроллера водителя в проводах 2, 3, 4, 2Л, 19П и подается питание на один из вентилях реверсора «Вперед» или «Назад». После переключения реверсора в рабочее положение подается напряжение на провод 25. На катушку линейного контактора ЛК1 питание подается по цепи: провод 14А — ПБ — провод 25 — контроллер водителя — провод 2 — РУМ — РН — РК1 — РЕ — Т1 — ПРТ* — РХ — РП — ЛК1 — отрицательный вывод источника питания. Когда включается контактор ЛК1, замыкаются его блок-контакты в проводах 2А — 2В, шунтируя кулачковый контактор РК1 и контакты РЕ, а блок-контактами ЛК1 в проводах 19Б — 2Т включается катушка контактора ЛК2.

При пуске с остановки после включения линейных контакторов срабатывает реле выбега РВ и контактами РВ в проводах 9Г — 9В включает контактор Ш. Контакторы ТР1 и ТР2, шунтирующие резисторы в цепи параллельного возбуждения тяговых двигателей, включаются через контакты выключателя РУМ в проводах 3 — 3А и 4 — 4А.

В силовой цепи включены контакторы ЛК1, ЛК2, ТР1, ТР2, Ш (см. рис. 84, б). Ток к тяговым двигателям идет от контактной сети двумя параллельными цепями (см. рис. 84, а) Т — РР — АВ — ЛК1 — ЛК2 — РК6 — (Р1 — Р11) и далее разветвляется: 1-я цепь — ОМ — РП (2—4) — В — М2 — М4 — В — последовательные обмотки возбуждения тяговых двигателей М2 и М4; РУТ — отрицательный вывод источника питания; 2-я цепь — ОМ — РП (1—3) — В — М1 — М3 — В — последовательные обмотки возбуждения тяговых двигателей М1 и М3 — РУТ — отрицательный вывод источника питания. По обмоткам

независимого возбуждения тяговых двигателей ток идет по цепи: Т — РР — АВ — Пр1 — Ш — ТР1 — ОМ — обмотки независимого возбуждения тяговых двигателей М1 — М4 — КВЦ — П15 — аккумуляторная батарея — отрицательный вывод источника питания. Движение вагона на маневровом положении контроллера водителя происходит при полном возбуждении независимой обмотки возбуждения тяговых двигателей.

На ходовом положении Х2 получает питание якорь серводвигателя СД (см. рис. 85) по цепи: провод 1 — РУМ — ЛК2 — резистор (1А — 1Г) — РК (1—7) — РУТ — СР — СД — отрицательный вывод аккумуляторной батареи. По цепи: провод 2А — Р — провод 6В — получает питание обмотка возбуждения СД «Вперед». Серводвигатель вращает вал реостатного контроллера и контакторы РК, выводят пусковой реостат из цепи тяговых двигателей под контролем РУТ согласно таблице замыкания контакторов (см. рис. 84, б). В положении Х2 контроллера водителя на 13-й позиции реостатного контроллера пусковое сопротивление в цепи тяговых двигателей становится равным нулю, так как контактами РК13 (в проводах 2В — 2Ж) включается контактор Р. Блок-контакты Р в проводах 19БА — 19Б включают промежуточное реле ПР, которое своим блок-контактом в проводах 2Ш — 9Г выключает контактор Ш.

На 13-й позиции движение реостатного контроллера прекращается, так как замыкается кулачковый контактор РК13 в проводах 6В — 8А и включает стоп-реле СР, которое своими контактами СР в проводах 1Б — 1В отключает цепь якоря СД, а контактами СР в проводах 1В — 1Ж замыкает якорь СД накоротко.

После установки контроллера водителя в положение Х3 по цепи: провод 6 — РК (10 — 13) — ПР получает питание обмотка возбуждения СД «Назад» и вал реостатного контроллера изменяет направление вращения. При этом в цепь параллельных обмоток возбуждения тяговых двигателей кулачковыми контакторами реостатного контроллера Ш1 — Ш8 вводится регулировочный реостат Р30 — Р38. Скорость вагона увеличивается при ослаблении возбуждения параллельных обмоток тяговых двигателей. На 17-й позиции (9-я позиция реостатного контроллера) кулачковый контактор РК9 — 10 в проводах 8 — 8А включает стоп-реле СР и реостатный контроллер останавливается.

В положении Х4 контроллера водителя ток регулирования реле РУТ увеличивается до максимального значения 340 — 380 А. Движение вагона происходит так же, как и в положении Х3, но при большем ускорении и заканчивается выходом на тяговую характеристику при максимальном ослаблении поля тяговых двигателей. В положении Х4 с провода 8 снимается напряжение и стоп-реле отключается. Обмотка возбуждения СД «Назад» получает питание от провода 7 и реостатный контроллер продолжает движение к 1-й позиции (25-я позиция реостатного контроллера). На 1-й позиции включается кулачковый контактор РК1 в проводах 7Б — 8А и снова включает стоп-реле, которое отключает серводвигатель.

* При работе одного вагона РВ3-6М-2 замкнут контакт переключателя ПРТ, а при работе по системе многих единиц — контакт реле РАТ, свидетельствующий о наличии электрической цепи в межвагонном соединении.

Во время пуска вагона можно в зависимости от условий движения постепенно переводить рукоятку контроллера управления с положения *X1* на *X2*, *X3*, *X4* или сразу ставить ее на выбранное положение. При этом вначале собирается схема, соответствующая положению *X1* контроллера водителя, а затем вал реостатного контроллера под контролем *РУТ* поворачивается до 13-й позиции с большей скоростью (увеличивается ускорение вагона).

Пуск после выбега. Если скорость вагона меньше скорости, при которой может произойти рекуперативное торможение с максимальным возбуждением тяговых двигателей, то пуск протекает в таком же порядке, как и с остановки. Если же скорость вагона больше скорости, при которой возможно рекуперативное торможение, то пуск происходит при ослабленном возбуждении тяговых двигателей. В этом случае напряжение на катушке реле выбега *РВ* (см. рис. 85) невелико и реле не срабатывает, поэтому контактор *Ш* не включается. При вращении реостатного контроллера одновременно с выведением пускового реостата выводится и регулировочный реостат *Р30—Р38* (см. рис. 84), вследствие чего постепенно усиливается возбуждение тяговых двигателей. Напряжение на тяговых двигателях увеличивается, приближаясь к значению напряжения контактной сети. Когда разность напряжений между тяговыми двигателями и контактной сетью снизится до 100—120 В, отпадает якорь балансного реле *РБ*, которое своими блок-контактами *РБ* в цепи проводов *2В—2Б* (см. рис. 85) включает контактор *Р*. Дальнейшее движение вала реостатного контроллера определяется положением контроллера водителя. Например, при установке контроллера водителя в положение *X4* получит питание обмотка возбуждения *СД* «Назад» и вал реостатного контроллера изменит направление вращения — вращается к 1-й позиции (25-я позиция), что приводит к ослаблению возбуждения тяговых двигателей и увеличению скорости движения вагона. Чем выше скорость вагона, тем при меньшем токе возбуждения тяговых двигателей происходит срабатывание *РБ* и, следовательно, будет меньше время пуска с выбега.

Выключение цепи. При переводе контроллера водителя в нулевое положение после выключения контакторов *ЛК1*, *ЛК2* и *Р* серводвигатель *СД* получает питание от провода *19Б* по цепи *ЛК1—РК (2—13)—резистор (1А—1Г)—Р—РУТ—СР—якорь СД*, а через блок-контакты *ЛК2* в проводах *1А—7Б* получает питание обмотка возбуждения *СД* «Назад» и реостатный контроллер возвращается на 1-ю позицию, где размыкаются контакты *РК2—13* и прекращается питание серводвигателя *СД*.

Рекуперативное торможение. Электрическое рекуперативное торможение используется для снижения скорости движения вагона. Если на большой скорости движения вагона рукоятку контроллера водителя перевести из положения *X4* на положение *X1*, то двигатель переходит в генераторный режим на определенной ступени независимого возбуждения (в режим рекуперативного торможения). При рекуперативном торможении уставка *РУТ* макси-

мальная на всех позициях контроллера водителя (340—380 А), так как контакты промежуточного реле *ПР* замыкают накоротко регулировочную катушку *РУТ1*. В случае рекуперативного торможения система управления работает при пониженной частоте вращения вала реостатного контроллера. Это достигается введением резистора в проводах *1Г—1Б* в цепь якоря серводвигателя. По мере снижения скорости вагона для поддержания эффективности рекуперативного торможения происходит постепенное усиление возбуждения тягового двигателя.

Реостатное торможение. После установки рукоятки контроллера водителя в положение *T1* по проводу *9* (см. рис. 85) через замыкающие контакты реле максимального напряжения *РМН* подается питание на катушку контактора *T1* и после его включения блок-контактами *T1* замыкается цепь питания катушки контактора *Ш*. В это время обмотки независимого возбуждения получают питание из контактной сети через контактор *Ш* (см. рис. 84), а обмотки якорей тяговых двигателей замыкаются на тормозной реостат *P11—P12*. Тяговые двигатели работают в генераторном режиме со встречно-смешанным возбуждением. Срабатывает реле реостатного торможения *PPT* и своими контактами *PPT* (см. рис. 85) включает катушку *ВТ2* вентиля замещающего торможения.

На положении *T2* контроллера водителя включается контактор *ТР2*, который выводит ступень регулировочного реостата *P38—P41* из цепи обмоток независимого возбуждения тяговых двигателей, и ток возбуждения тяговых двигателей увеличивается. После возвращения реостатного контроллера на 1-ю позицию его контактор *РК1* в проводах *9И—9А* и блок-контакты *ТР2* в проводах *9Д—9Е* включают контактор *T2*, который присоединяет пусковые реостаты *P2—P11* параллельно тормозному реостату *P11—P12*. Блок-контактами *T2* в проводах *19Б—2Т* включается контактор *ЛК2*, который своими блок-контактами *ЛК2* в проводах *1Д—1А* замыкает цепь питания якоря серводвигателя *СД* и обмотки возбуждения *СД* «Вперед». При включении серводвигателя начинается выведение реостата *P2—P11* (см. рис. 84). Скорость движения вала реостатного контроллера с 1-й позиции на 13-ю позицию регулируется *РУТ* при токе уставки 230—260 А.

В положении *T3* контроллер водителя включением контактора *ТР1* устанавливает максимальный ток параллельного возбуждения тяговых двигателей (выводится резистор *P41—P42*) и ток регулирования *РУТ* повышается до 350—400 А.

Положение *T1* служит для подтормаживания вагона. Если требуется снизить скорость вагона на уклоне, сначала устанавливают контроллер водителя в положение *T2* или *T3* и после выведения части пускового реостата возвращают контроллер водителя в положение *T1*.

На 13-й позиции реостатного контроллера включается кулачковый контактор *РК13* (см. рис. 85) в проводах *6В—8А*, который включает стоп-реле *СР*, и серводвигатель *СД* отключается. Вал

реостатного контроллера остается на 13-й позиции до возвращения контроллера водителя на нулевое положение. При снижении скорости вагона до 3—4 км/ч тормозной ток становится недостаточным для удержания реле *PPT* во включенном состоянии. После отпадения якоря *PPT* выключается катушка вентиля *BT2* и на реостатное торможение накладывается механическое торможение. Механическое торможение автоматически замещает реостатное торможение и в случае неисправности электрической схемы, когда в тормозном контуре не появляется тормозной ток и не срабатывает реле *PPT*.

Для экстренного торможения рукоятку контроллера управления устанавливают в положение *T4*, на котором получают питание катушки контактора *KPT* и вентиля песочницы *ВП*. Контактор *KPT* включает электромагнитные катушки *ТР* рельсовых тормозов, а с помощью вентиля песочниц *ВП* песок подается под колеса. При совместном действии реостатного и рельсового тормозов достигается замедление 4 м/с².

Управление вагонами по системе многих единиц. Когда вагоны РВЗ-6М-2 работают по системе многих единиц, переключатель *ПРТ* должен быть выключен (при работе одного вагона — включен). Реле хода *PX* предназначено для контроля положения реверсора на втором вагоне: при нарушении цепи питания катушки вентиля реверсора реле хода не включится и цепь питания катушки линейного контактора *ЛК1* не соберется. Реле автоматического торможения *PAT* предназначено для включения экстренного торможения поезда (рельсовых тормозов) при разрыве межевагонного соединения. Причем реле *PAT* обоих вагонов включены по перекрестной схеме, т. е. катушка реле *PAT* первого вагона получает питание от аккумуляторной батареи второго вагона и, наоборот, катушка *PAT* второго вагона получает питание от аккумуляторов первого вагона. В случае разрыва межевагонного соединения цепи питания катушек *PAT* на обоих вагонах разрываются и реле своими размыкающими контактами в проводах 27А—24 включает контактор рельсовых тормозов *KPT*, через который подается питание на катушки *ТР* рельсовых тормозов.

Защита тяговых двигателей. С помощью реле перегрузки с двумя обмотками *РП(1—3)* и *РП(2—4)*, включенными в обе группы тяговых двигателей, осуществляется защита тяговых двигателей. При срабатывании реле выключаются линейные контакторы. Возврат реле перегрузки *РП* происходит при возбуждении электромагнита защелки *РП-возврат* путем нажатия кнопки *Возврат РП* на положении 0 контроллера водителя. Для защиты от коротких замыканий в силовой цепи предусмотрен автоматический выключатель *АВ*. Реле нулевого напряжения *РН* срабатывает, когда напряжение в контактной сети станет ниже 270 В, и выключает линейный контактор *ЛК1*.

Защита от перенапряжений осуществляется с помощью реле максимального напряжения *РМН*, которое срабатывает при рекуперативном торможении в случае повышения напряжения более

750 В. При срабатывании реле максимального напряжения замыкается цепь контактора реостатного торможения *T1* и выключается линейный контактор *ЛК1*. С целью защиты от излучения радиопомех установлены реакторы помехоподавления *РР*.

38. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ВАГОНА КТМ-5М-3

Общие сведения. На вагоне установлены четыре тяговых двигателя *M1—M4* (рис. 86) типа ДК-259Г-3 со смешанным возбуждением и часовой мощностью 45 кВт с низковольтными характеристиками. Двигатели соединены в две параллельные группы по два последовательно соединенных двигателя в каждой группе. При тяговом режиме обе группы двигателей получают питание через общий пусковой реостат. Во время торможения каждая группа двигателей работает на отдельный тормозной реостат.

Вагон оборудован автоматической системой управления (рис. 87). Контроллер управления *КВ* имеет нулевое положение, четыре положения для режима пуска и пять положений для режима торможения. Первое пусковое положение *M* служит для маневрового режима — движения с малой скоростью при полностью введенных реостатах. На 2-м положении *X1* контроллера *КВ* пуск осуществляется с малым ускорением 0,6 м/с². Пуск заканчивается на 13-й позиции, на которой выведены пусковые реостаты и отключена обмотка независимого возбуждения.

Положение *X2* контроллера водителя отличается от положения *X1* тем, что на нем вагон движется с большим ускорением — 1,0—1,2 м/с². На положении *X3* контроллера водителя вагон движется с максимальным ускорением 1,4—1,5 м/с².

На позициях реостатного контроллера, последующих за 13-й позицией, увеличение скорости движения вагона происходит при ослаблении возбуждения тяговых двигателей и на 17-й позиции (последней) получается наибольшее ослабление возбуждения.

На первых трех тормозных положениях *T1—T3* контроллера водителя *КВ* происходит неавтоматическое торможение, используемое для постепенного увеличения тормозной силы перед служебным торможением или для подтормаживания вагона на уклонах. На положении *T1* ток в обмотке независимого возбуждения и тормозная сила наименьшие. На положениях *T2* и *T3* ток возбуждения и тормозная сила увеличиваются. Положение *T4* используют для служебного торможения. На этом положении тормозные реостаты выводятся под контролем реле ускорения и замедления (торможения) *РУТ*, а при снижении скорости вагона до 3—5 км/ч на реостатное торможение накладывается механическое торможение. После установки рукоятки контроллера водителя в положение *ТР* вступают в действие рельсовые тормоза.

Автоматический пуск и служебное реостатное торможение происходят под контролем реле *РУТ*. Ток регулирования *РУТ* при

пуске изменяется в зависимости от положения рукоятки контроллера водителя (с помощью резисторов, включаемых в цепь подмагничивающей катушки) $PY_{\text{под}}$. Автоматическое замещение реостатного торможения механическим выполняется по сигналу резистора минимального тока PMT , включенного в цепь тяговых двигателей $M2$ и $M4$.

Цепи управления и сигнализации, катушки механических рельсовых тормозов питаются от аккумуляторной батареи AB и при напряжении 24 В и подзарядного генератора G .

Подготовка вагона к пуску. После подъема токоприемника $ТП$ и нажатия педали бдительности $ПБ$, которую водитель должен удерживать нажатой в течение всего времени движения вагона, включают автоматический выключатель $AB2$ вспомогательных цепей управления напряжением 550 В и двигатель-генератор D . Разъединителями управления $PY1$ и $PY2$ подключают аккумуляторную батарею к генератору и подают питание на выключатель управления $VY1$ и $VY2$. Затем их включают и проверяют правильность включения аппаратов на всех положениях контроллера водителя. Проверяют срабатывание механического тормоза с соленоидным приводом и электромагнитного рельсового тормоза при отпускании педали бдительности. Убедившись в правильном действии всех элементов схемы управления и сигнализации, включают выключатель $AB1$. Вагон готов к пуску.

Пуск вагона. При нажатой педали бдительности $ПБ$ устанавливают ручку реверсора в положение *Вперед*, а главный вал контроллера управления в одно из ходовых положений в зависимости от требуемого ускорения и скорости движения вагона. Через контакты $ПБ$ подается питание по проводу 4 на реле рельсового тормоза $PRT2$ и через размыкающие блок-контакты контактора K и стоп-реле $PC1$ на катушку реле выдержки времени $PB1$, контакты которого замыкают цепи удерживающих катушек механического тормоза $МОМ1—МОМ4$. По проводу 2 через контакты разъединителя цепей управления PYU и кулачковый контактор *Вперед* подается питание на катушки реле электромагнитного рельсового тормоза $PRT1$ и реле хода PX . В случае если реверсор был ранее установлен в положение *Назад*, вал реверсора повернется в положение *Вперед*. Контакты $PRT1$ готовят цепь включения стоп-реле $PC1$ и контактора рельсового тормоза $KPT2$ в случае отпущения педали бдительности.

Для надежного удержания реверсора с электромагнитным приводом в заданном положении катушка электромагнитного привода имеет подпитку через резистор в проводах 2А—2И (а при положении *Назад* — через резистор в проводах 3А—3Б).

Блок-контакты реле хода PX , замыкаясь, готовят цепь питания катушек линейных контакторов $LK1$ и $LK4$.

При установке рукоятки контроллера водителя KB в положение M маневрового режима движения через кулачковый контактор KB в проводе 5 по цепи: $ПБ—KB—PUM—PX—PC1—PH—PP—T2—PK1—LK1$ включается контактор $LK1$ и его блок-контакты

включаются контакторы $LK2$ и $LK4$. Тяговые двигатели получают питание через полностью введенный пусковой реостат. На маневровом положении по силовой цепи (см. рис. 86, а) ток идет по цепи: $ТП—РД—AB1—LK4—LK1—PK6—(P2—P11)$ и далее разветвляется по двум группам тяговых двигателей: I гр. — $LK2—PP(1—3)—B—(Y11—Y21)—(Y13—Y23)—B—PYT—A1—(C11—C21)—(C13—C23)$ — отрицательный вывод источника питания; II гр. — $PP(2—4)—B—(Y22—Y12)—(Y24—Y14)—B—PYT—PMT—A2—(C12—C22)—(C14—C24)—LK3$. Одновременно через провод 6 по цепи $KB—PUM—T2—P$ (см. рис. 87) получает питание катушка контактора $Ш$. Контактор $Ш$ подключает обмотки независимого возбуждения тяговых двигателей к контактной сети по цепям (см. рис. 86): $Pr1—Ш—(P32—P33)—(Ш11—Ш21)—(Ш13—Ш23)—(Ш23—C11)—(C11—C21)—(C13—C23)$ — рельс и обмотки возбуждения $(Ш12—Ш22)—(Ш14—Ш24)—(Ш24—C12)—(C12—C22)—(C14—C24)—LK3$ — рельс.

После включения контактора $LK4$ через его блок-контакты в проводах 4—4Г (см. рис. 87) и блок-контакты реле выдержки времени $PBK2$ (реле $PBK2$ включилось сразу же после включения выключателей управления) включается катушка контактора $K2$. Контактор $K2$ силовыми контактами включает подъемные катушки механических тормозов $TMM1—TMM4$. Происходит растормаживание барабанных тормозов и размыкаются конечные выключатели $BK1—BK4$ тормозных электромагнитов. Реле $PBK2$ обесточивается и с выдержкой времени 0,8—1,0 с отключает контактор $K2$. Этой выдержки времени достаточно для движения якорей в зону удержания катушками $МОМ1—МОМ4$. Для удержания механических тормозов с соленоидным приводом в расторможенном состоянии достаточно возбуждения только удерживающих катушек $МОМ1—МОМ4$.

Таким образом, движение вагона начинается после того как реверсор займет заданное положение (включится PX), реостатный контроллер вернется на исходную (1-ю) позицию и механические тормоза будут расторможены. При заторможенном механическими тормозами вагоне линейные контакторы остаются включенными. Это позволяет осуществлять остановку вагона на подъеме и последующий пуск без откатки вагона назад.

При установке контроллера водителя в положение $X1$ после завершения операций, описанных для маневрового положения M , поступает питание на серводвигатель CD через провод 1 по цепи $KB—PUM—LK2—K2—R_{\text{п}}—CP—PYT—CD$. По обмотке возбуждения серводвигателя CD ток идет через провод 1 и диод $D5$.

На положении $X1$ получает питание подмагничивающая катушка $PY_{\text{под}}$ по цепи: провод 1, диод $D5$, контакты реверсивного реле $PP(1И—18В)$, катушка $PY_{\text{под}}$, контакты $PP(18Б—18А)$, резистор $R1$ и контакты KB в проводе 20. В этом положении KB ток регулирования $PY_{\text{т}}$ равен 100—110 А на одну группу тяговых двигателей.

При повороте вала реостатного контроллера *РК* в промежутке между позициями фиксации замыкаются контакты *РКМ1* и *РКМ2*. В этом случае ток в катушку *РУТ*_{под} идет, минуя резистор *К1*, и при совместном действии силовых катушек *РУТ* и *РУТ*_{под} реле ускорения и замедления срабатывает, размыкая контакты *РУТ* в проводах *1Г—1Д* и замыкая контакты *РУТ* в проводах *1Д—1Е*. Между позициями реостатного контроллера якорь *СД* продолжает получать питание через контакты *РКМ1*. Как только вал реостатного контроллера подойдет к очередной позиции, контакты *РКМ1* и *РКМ2* размыкаются, а контакты *РКП* замыкаются. Если ток тяговых двигателей достаточен для удержания якоря реле *РУТ* в притянутом состоянии, то через контакты *РУТ* и *РКП* якорь серводвигателя *СД* замыкается накоротко, происходит интенсивное торможение серводвигателя и вал реостатного контроллера фиксируется до тех пор, пока ток в тяговых двигателях не упадет до тока регулирования реле *РУТ*, после чего якорь реле *РУТ* отпадет и снова включит серводвигатель.

Аналогичным образом вал реостатного контроллера повернется на следующую позицию, выводя очередную ступень пускового реостата в соответствии с таблицей замыкания контакторов (см. рис. 86, б).

На 13-й позиции блок-контактами реостатного контроллера *РК(13—17)* в проводах *6Е—6Д* включается контактор *Р*, который шунтирует пусковой реостат, и реостатный пуск заканчивается.

Блок-контактами *РК(13—14)* в проводах *12—12Б* включается стоп-реле *СР* (см. рис. 87). Размыкающие контакты *СР* отключают серводвигатель от источника питания, а замыкающие контакты *СР* замыкают накоротко якорь серводвигателя через контакты реостатного контроллера *РКП*. Одновременно с этим блок-контакты контактора *Р* в проводах *6В—6Г* выключают контактор *Ш*. Контактор *Ш* разрывает цепь питания обмоток независимого возбуждения тяговых двигателей.

При установке контроллера водителя *КВ* в положение *Х2* пуск происходит так же, как и на положении *Х1*, но с током регулирования 160—170 А. На катушке *РУТ*_{под} напряжение уменьшается из-за включения резистора *Р2*. Ток в катушку реле *РУТ*_{под} идет по цепи: провод *1—РМ—Д5—РР—РУТ*_{под}—*РР—Р2*—провод *18—КВ*—отрицательный вывод источника питания.

На положении *Х3* катушка реле *РУТ*_{под} не имеет постоянной подпитки и пуск происходит при токе регулирования *РУТ*, равном 220—230 А. Эта позиция используется для движения с максимальной скоростью. На 13-й позиции реостатного контроллера стоп-реле *СР* получает питание по цепи *КВ—11—Ш—РК(13—14)—ЛК2—СР*. Реостатный контроллер фиксируется на время включения контактора *Р* и выключения контактора *Ш*, после чего размыкаются блок-контакты *Ш* в проводах *11—11Б* и стоп-реле *СР* теряет питание. Вал реостатного контроллера продолжает вращаться под контролем реле ускорения и замедления до 17-й позиции. При этом возбуждение тяговых двигателей ослабляется

вследствие шунтирования обмоток последовательного возбуждения в соответствии с таблицей замыкания контакторов: на 14-й позиции возбуждение последовательной обмотки составляет 100%, а независимая обмотка возбуждения выключена; на 15-й позиции возбуждение последовательной обмотки уменьшается до 73%, на 16-й позиции до 55% и на 17-й позиции до 43%. На 17-й позиции через блок-контакты *РК17* реостатного контроллера в проводах *18А—18Г* происходит включение *РУТ* еще до замыкания *РКМ2*, что улучшает фиксацию реостатного контроллера на 17-й позиции.

В схеме не предусматривается возврата с ослабленного возбуждения на полное. Водитель по своему усмотрению может зафиксировать пусковой режим вагона на любой позиции реостатного контроллера, переведя контроллер на маневровое положение *М*. Водитель осуществляет пуск на любом ходовом положении контроллера, так как ввиду наличия размыкающих блок-контактов *К2* в цепи якоря серводвигателя ступени пускового реостата будут выведены только после оттормаживания вагона.

Переход с режима тяги на выбег. В момент установки контроллера водителя в нулевое положение первыми выключаются линейные контакторы с более мощным дугогашением *ЛК1* и *ЛК4*, а затем блок-контактами *ЛК1* выключаются контакторы *ЛК2* и *Р*. После выключения линейного контактора *ЛК1* подается питание от аккумуляторной батареи на серводвигатель *СД* и реле времени *РОВ* по цепи: провод *17—ЛК1—КТ1—КТ2—РК(2—17)—Д6—К2—Rн—СР—РУТ—СД* и через блок-контакт *РК(2—17)* на катушку реле *РОВ*. Контакты *РОВ* в проводе *17* замыкаются и подают питание на обмотку возбуждения серводвигателя. В любом положении вала реостатного контроллера (со 2-й по 17-ю позицию) возврат происходит при движении вала вперед через 17-ю позицию на 1-ю позицию. На 1-й позиции по цепи: провод *17—ЛК1—КТ1—КТ2—РК1—СР* получает питание катушка стоп-реле *СР*. Стоп-реле отключает якорь серводвигателя от цепи питания и замыкает его накоротко для фиксации реостатного контроллера. Контактами *РК(2—17)* отключается катушка *РОВ* и с выдержкой времени, достаточной для завершения торможения серводвигателя, отключается его обмотка возбуждения.

Реостатное торможение. Во время торможения в тяговых двигателях используют только обмотки независимого возбуждения, которые соединены в две группы в соответствии с двумя группами тяговых двигателей. Изменение тока в обмотках независимого возбуждения выполняется общим реостатом *Р32—Р33* (см. рис. 86, а). Реостат выводится контакторами *Ш1* и *Ш2*. Каждая группа обмоток возбуждения получает питание от контактной сети через тормозной стабилизирующий резистор (в проводах *Ш23—С11* и *Ш24—С12*).

При установке контроллера водителя в тормозное положение *Т1* по проводу *6* (см. рис. 87) подается питание на катушку контактора *Ш*. С включением контактора *Ш* идет ток из контактной сети в цепи обмоток независимого возбуждения двигателей. По прово-

ду 8 поступает питание на катушки контакторов $T1$ и $T2$. Контактры $T1$ и $T2$ замыкают цепи тяговых двигателей на тормозные реостаты. Двигатели переходят в тормозной режим и вырабатываемая ими энергия гасится в тормозных реостатах. В первой группе тяговых двигателей тормозной ток идет по цепи (см. рис. 86): $Я11-B-PP(1-3)-T1-(P12-C11-A1-PUT-B-Я23$. Во второй группе — по цепи: $Я22-B-PP(2-4)-T2-(P18-C12)-A2-PMТ-PUT-B-Я14$. Тормозной ток I_T и ток $I_{ш}$ в обмотках независимого возбуждения совпадают по направлению в стабилизирующих резисторах. Поэтому при повышении тормозного тока I_T ток возбуждения $I_{ш}$ уменьшается. Такая зависимость между I_T и $I_{ш}$ позволяет при соответствующем подборе стабилизирующего резистора получить тормозные характеристики, подобные характеристикам при встречно-смешанном возбуждении, которые удобны для остановочного торможения. В этом положении KB тормозное замедление вагона не более 0,4—0,6 м/с².

Когда водитель установит контроллер в тормозное положение $T2$, по проводу 7 (см. рис. 87) подается питание на катушку контактора $Ш1$. Включение контактора $Ш1$ вызывает увеличение тока возбуждения $I_{ш}$ и соответственно тормозной силы тяговых двигателей.

В тормозном положении $T3$ контроллера водителя по проводу 19 поступает питание на катушки контакторов $Ш2$, $KT1$, $KT2$ (если вал реостатного контроллера находится на 1, 2-й или 10—17-й позициях). При включении контактора $Ш2$ еще больше увеличивается ток возбуждения $I_{ш}$ и тормозная сила тяговых двигателей.

Если рукоятку контроллера водителя перевести в тормозное положение $T4$, получает питание серводвигатель по цепи: провод $1-RUM-T2-K2-R_n-CP-PUT-CD$. Обмотка возбуждения CD , как и при пуске, питается через диод $D5$.

Тормозной ток I_T в силовых катушках реле ускорения и замедления PUT при тормозном режиме идет в обратном направлении. Чтобы изменить направление тока и в подмагничивающей катушке реле $PUT_{под}$ при тормозном режиме катушка реверсивного реле PP выключена и ток по катушке реле $PUT_{под}$ идет через размыкающие контакты PP , т. е. в обратном направлении. Магнитные потоки всех катушек реле ускорения и замедления действуют согласнo, как и при тяговом режиме. В тормозном режиме $PUT_{под}$ не имеет постоянной подпитки. Поэтому ток регулирования PUT при торможении такой же, как на положении $X3$ контроллера водителя, т. е. 220—230 А.

При повороте вала реостатного контроллера со 2-й на 8-ю позицию происходит постепенное выведение тормозных реостатов из цепи тяговых двигателей под контролем PUT . На положении $T4$ (с 3-й позиции реостатного контроллера) тормозной реостат постепенно выводится кулачковыми контакторами $PK9-PK16$ реостатного контроллера, порядок включения которых соответствует таблице замыкания контакторов (см. рис. 86, б), а тормозная сила тяговых двигателей поддерживается неизменной. На 8-й позиции

реостатного контроллера включается стоп-реле CP по цепи (см. рис. 87): провод $13-RUM-PK(8-9)-KT1(KT2)-CP$. Реостатный контроллер фиксируется, так как якорь серводвигателя отключается от источника питания и замыкается накоротко.

В случае уменьшения тормозного тока вследствие снижения скорости вагона до значения отпадания якоря реле минимального тока PMT (I_T меньше 100 А) происходит автоматическое наложение на реостатное торможение механического торможения. При этом контакты PMT замыкают цепь питания катушки контактора $K1$: провод $13-RUM-PB2-PMT-K1$. Через силовые контакты контактора $K1$ и регулировочный резистор ($17B-17B$) получают питание подъемные катушки соленоидов $TMM1-TMM4$. Блок-контакты контактора $K1$ в проводах 4—4Б выключают реле $PB1$, которое с выдержкой времени отключает цепи питания удерживающих катушек $МOM1-MOM4$. После этого начинают действовать механические тормоза примерно с половинным усилием. При возврате рукоятки контроллера KB в нулевое положение отключается контактор $K1$ и снимается напряжение с подъемных катушек $TMM1-TMM4$, включается реле $PB1$ и вагон остается заторможенным механическим тормозом, так как удерживающие катушки $МOM1-MOM4$ не могут от тормозить вагон.

Замещающее механическое торможение действует только на тормозном положении $T4$ контроллера водителя. В положении $T1-T3$ включено реле выдержки времени $PB2$, а его контакты $PB2$ в проводах 13А—13В разомкнуты и не позволяют включиться контактору $K1$. При переводе контроллера водителя с тормозной позиции $T3$ на $T4$ отключается катушка реле $PB2$ и с выдержкой времени, достаточной для поворота вала реостатного контроллера с тормозных позиций (с 3-й на 9-ю позицию) и включения контакторов $Ш2$, $KT1$, $KT2$, через контакты $PB2$ получит питание катушка контактора $K1$.

В случае исчезновения напряжения в контактной сети во время торможения или при перегорании предохранителя $Pr1$ в цепи обмоток независимого возбуждения происходит автоматическое замещение независимого возбуждения тяговых двигателей на последовательное возбуждение с питанием последовательной обмотки от аккумуляторной батареи. При этом срабатывает реле напряжения $РН$ и своими блок-контактами $РН$ (8А—8В) включает катушки контакторов $TБ$ и $ЛКЗ$. Контактор $ЛКЗ$ имеет размыкающие силовые контакты, которые отключают цепи двигателей от контактной сети и готовят цепь питания обмоток последовательного возбуждения тяговых двигателей. Контактор $TБ$ двухполюсный, одной парой контактов $TБ$ последовательные обмотки возбуждения $C12-C22-C14-C24$ соединяются последовательно с обмотками возбуждения $C11-C21-C12-C23$ (см. рис. 86), а другой парой контактов $TБ$ они подсоединяются к аккумуляторной батарее. Так как обмотки якорей в обеих группах двигателей остаются замкнутыми на тормозные реостаты, то продолжается реостатное торможение при независимом возбуждении последовательных обмоток.

При переходе с реостатного торможения на выбег сначала отключается цепь обмоток возбуждения контактором *Ш*, а затем размыкаются тормозные контуры обмоток якорей двигателей контакторами *T1* и *T2*. При таком порядке отключения торможения более плавно протекают переходные процессы в двигателе: контактор *Ш* разрывает цепь с меньшей нагрузкой (так как в противном случае из-за исчезновения тормозного тока возрос бы ток в обмотках параллельного возбуждения), а контакторы *T1* и *T2* отключаются после отпадания с выдержкой времени якоря реле *PВ3*, т. е. отключают уже обесточенную цепь.

Подтормаживание вагона на спусках или при подъездах к остановочным пунктам осуществляется на тормозных положениях *T1—T3* контроллера водителя. Выбор тормозного положения контроллера водителя зависит от требуемых скорости и уклона, при этом возможен переход с одного положения на другое и обратно. Для подтормаживания можно использовать и тормозное положение *T4* с последующим переводом контроллера водителя на тормозные положения *T3* и *T2*. Для подтормаживания на положении *T4* нажимают кнопку дотормаживания *КДТ* (см. рис. 87), через цепь которой включается реле *PВ2* и разрывается цепь включения замещающего соленоидного торможения (отключается *K1*).

Экстренное торможение. Для получения экстренного торможения устанавливают рукоятку контроллера водителя в положение *ТР*. Тогда помимо реостатного торможения, которое соответствует тормозному положению *T4*, включаются рельсовые тормоза с помощью контактора *KPT1*. При действии электромагнитных рельсовых тормозов получается резкое замедление и аккумуляторная батарея разряжается. Поэтому положение *ТР* используют для торможения только в исключительных случаях.

Торможение вагона стоп-кранами выполняется при нажатии одной из кнопок *СК1* или *СК2*, размещенных у выходных дверей. При этом подается питание на провода *22* и *24*. Через провод *22* поступает питание на катушку стоп-реле *РС1*. Когда срабатывает реле *РС1*, его контакты в проводах *2В—2К* выключают катушки линейных контакторов *ЛК1* и *ЛК4*, в результате снимается тяговый режим. Вторая пара контактов *РС1* в проводах *4Б—4Д* выключает реле времени *PВ1*. Последнее с выдержкой времени отключает удерживающие катушки *МОМ1—МОМ4* и начинается механическое торможение. Одновременно с этим по проводу *24* получает питание катушка контактора *KPT2*, включающая рельсовые тормоза. После отпуска кнопки *СК1* или *СК2* рельсовые тормоза отключаются, а вагон остается заторможенным механическими тормозами с соленоидными приводами.

Торможение механическим тормозом с соленоидным приводом можно производить независимо от положения контроллера водителя: при нажатии кнопки *КАТ* в цепи провода *21* включается контактор *K1*, через контакты которого получают питание катушки *ТММ1—ТММ4* и происходит выключение катушек *МОМ1—МОМ4*.

Устройство безопасности. Для отключения тягового режима и включения экстренного торможения при потере водителем бдительности предусмотрено устройство безопасности. Педаль безопасности *ПБ* водитель должен постоянно держать в нажатом состоянии. Контакты *ПБ* замыкаются при нажатой педали и замыкают цепь питания линейных контакторов *ЛК1*, *ЛК4* и удерживающих катушек механических тормозов *МОМ1—МОМ4*, а также реле рельсовых тормозов *PPT2*. При отпускании педали безопасности на ходовых позициях отключается тяговый режим, вступает в действие механический тормоз тяговых двигателей и замыкаются контакты *PPT2* в цепи катушки контактора *KPT2*, включающего рельсовые тормоза. Если на остановке нужно отпустить педаль безопасности, то водитель при нулевом положении главного вала ставит в нулевое положение реверсивную рукоятку. В этом случае отключается реле рельсового торможения *PPT1*, которое размыкает цепь питания катушек *РС1* и *KPT1*. После этого водитель может отпустить педаль безопасности.

Управление вагонами КТМ-5М-3 по системе многих единиц. Электрическая схема вагона выполнена с учетом возможности работы по два вагона в поезде. Такие поезда могут освоить значительные пассажиропотоки в часы пик, в остальное время их расцепляют и подвижной состав используют одиночными вагонами. В каждом вагоне на лобовых стенках кузова установлены устройства типов *ШР1* и *ШР2*, к которым припаяны соответственно 25 проводов цепи управления и 13 проводов вспомогательного электрического оборудования. В штепсельные разъемы вставляются междувагонные электрические соединения, выполненные в виде рукавов с помещенными в них проводами. Оба вагона сцепляют сцепными приборами, ставят междувагонную предохранительную сетку и поднимают токоприемники.

На ведомом вагоне контроллер водителя ставится в нулевое положение и все управление ведется контроллером головного вагона. В случае неисправности силовой цепи одного из вагонов поезда на неисправном вагоне отключают автоматический выключатель *AB1*. В этом случае тормозные системы работают на обоих вагонах. При неисправности цепи управления на одном из вагонов дополнительно отключают переключатель цепи управления *РУМ* с земной рукояткой реверсивного вала контроллера управления.

Защита электрооборудования. Силовая цепь от коротких замыканий защищается автоматическим выключателем *AB1* (см. рис. 86), который регулируется на ток срабатывания 800 А. Защита от перегрузок осуществляется с помощью реле перегрузок *РП*, установленных в каждой группе двигателей и отрегулированных на ток срабатывания 400 А. Реле имеют общую контактную систему с зацепкивающим механизмом. После срабатывания реле перегрузки контактами *РП* в цепи проводов *2Г—2Д* выключаются линейные контакторы *ЛК1* и *ЛК4*, а контактами *РП* в проводах *1Б—0* включается сигнальная лампа *СЛ1*. Контакты *РП* возвращаются в рабочее состояние только на нулевом положении контрол-

лера водителя и при нажатии кнопки *K возвр. РП* в проводе 14, которая включает катушку защелки *РП_{воз.}*

Реле напряжения *РН* осуществляет защиту тяговых двигателей от толчков тока, которые могут возникнуть при восстановлении напряжения в контактной сети после кратковременного его исчезновения. Реле напряжения *РН* действует на отключение линейных контакторов *ЛК1* и *ЛК4*. Контакты реле *РН* введены в цепь проводов *2К—2Г*.

Вспомогательные цепи напряжением 550 В и обмотки независимого возбуждения тяговых двигателей от коротких замыканий защищены автоматическим выключателем *АВ2*, отрегулированным на ток срабатывания 60 А. Помимо автоматического выключателя каждая цепь защищена плавкими предохранителями.

39. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ВАГОНА Т-3

Общие сведения. Трамвайный вагон Т-3 приводится в движение четырьмя тяговыми двигателями ТЕ-022 с последовательным возбуждением мощностью по 44 кВт при номинальном напряжении 300 В. Двигатели закрытого типа имеют независимую вентиляцию. Тяговые двигатели на вагоне соединены постоянно последовательно-параллельно. Силовая схема вагона приведена на рис. 88, схема цепей управления — на рис. 89. Схемы разверток ходового и тормозного барабанов даны на рис. 45, б и блокировочных контактов ускорителя на рис. 48, в.

Вагон оборудован плавной автоматической системой управления. Переключения в цепях тяговых двигателей выполняются индивидуальными контакторами (19 контакторов) и ускорителем, имеющим 75 пусковых и 99 тормозных позиций. Конструкция ускорителя и схема его работы показаны на рис. 47 и 48.

На схеме цепей управления (см. рис. 89) рядом с контакторами ускорителя *ZR* в скобках указаны номера позиций, на которых контакты ускорителя замкнуты. Датчиком для осуществления автоматического пуска и реостатного торможения, а также подготовки пускотормозных реостатов ускорителя во время выбега к последующему режиму — пуску или торможению служит ограничительное реле *ОР*.

Вагон Т-3 имеет три вида тормозов: электрический реостатный, механический с соленоидным приводом и электромагнитный рельсовый. Реостатное торможение является служебным. При низкой скорости вагона реостатное торможение становится малоэффективным и тогда на него автоматически накладывается механическое торможение. Механический тормоз (колодочный) установлен на валу каждого тягового двигателя. Датчиком для автоматического замещения реостатного торможения механическим служит блокировочное реле *ЛО*. Это реле имеет две катушки: одну в цепи тормозного контура тяговых двигателей, вторую — в цепи управ-

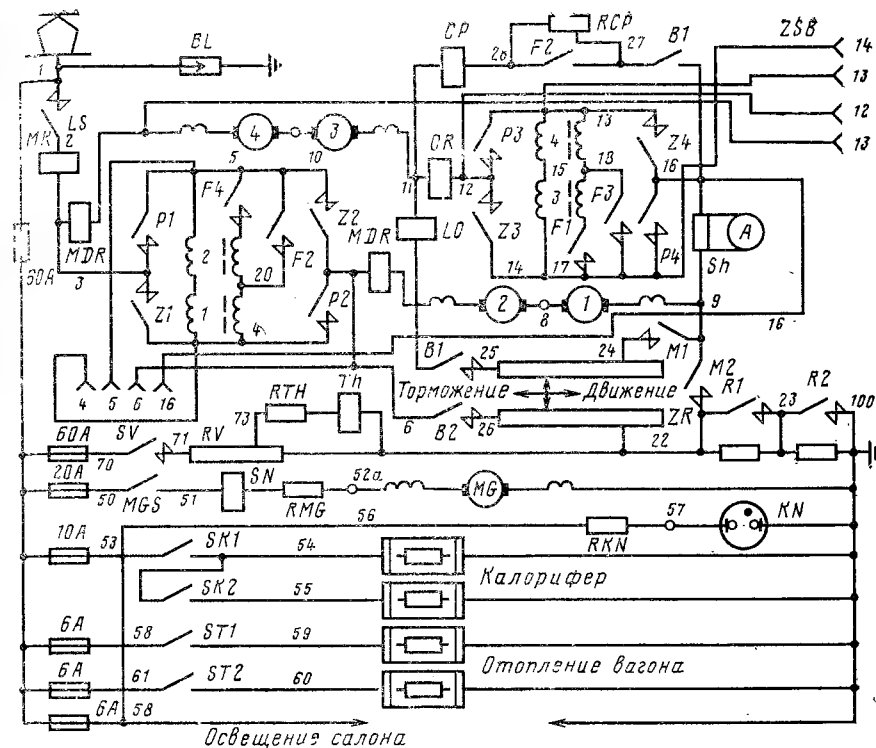


Рис. 88. Принципиальная электрическая схема цепей напряжением 550 В трамвайного вагона Т-3

ления, получающую питание на нулевом положении педалей на всех ходовых и первых четырех тормозных положениях контроллера управления. Механические тормоза включаются при выключении обеих катушек блокировочного реле. Рельсовые тормоза используются только при экстренном торможении.

Цепи управления, рельсовых, механических тормозов и сигнализации питаются от генератора *G* мощностью 1,6 кВт с номинальным напряжением 24 В, работающего параллельно с аккумуляторной батареей, имеющей номинальную емкость 100 А·ч. В качестве привода генератора используют двигатель с последовательным возбуждением, имеющий длительную мощность 5 кВт.

Вагон Т-3 управляется контроллером управления, состоящим из двух аппаратов, смонтированных в общем блоке: контроллера хода *ЖК* и тормозного контроллера *ВК*, каждый аппарат имеет свой педальный привод, а также реверсором, имеющим ручное управление. В случае если водителю нужно оставить пост управления при стоянке вагона в депо или на остановке, следует тормозную педаль поставить на защелку — вагон будет заторможен колодочными тормозами.

Подготовка вагона к пуску. После внешнего и внутреннего осмотра вагона ставят токоприемник на контактный провод. Контрольная лампочка *KN* (см. рис. 88) будет показывать наличие напряжения в контактной сети. Далее включают рубильник *OB2* аккумуляторных батарей (см. рис. 89), установленный в кабине водителя (рубильник *OB1*, расположенный у батареи в кузове вагона, включается слесарем после осмотра им электрооборудования вагона). Тормозная педаль должна находиться в стояночном положении — на защелке, при этом кулачковый контактор тормозного контроллера *BK1* будет включен. При нажатии педали безопасности включаются контакты *BS*, шунтируя контакты *BK1*. Устанавливают выключатель управления *VR*, расположенный на пульте управления, во второе положение, замыкая все контакты выключателя *VR1—VR11*, расположенные на его осевом валу. Получают питание включающая катушка реле безопасности *RB* и катушка контактора управления *R* по цепи: аккумуляторная батарея — *OB1*, плавкий предохранитель на 100 А — *OB2—CRP*, провод 320 — предохранитель на 20 А — провод 200 — *VR1—VR2—RBZ* — отрицательный вывод источника питания (провод 100) и по цепи провод 200 — *VR10—VR3—R* — провод 100. После включения реле безопасности и контактора управления *R* их блок-контакты шунтируют контакты управления *VR2* и *VR3* в проводах соответственно 326а—329 и 326—331, поэтому после возвращения выключателя управления под действием пружины в 1-е положение и отключения его контактов *VR2* и *VR3* реле безопасности *RB* и контактор управления *P* остаются включенными.

Контактами *RB* в проводах 207—100 подготавливаются цепи для включения контакторов *LS*, *M1*, *M2*, *BR1*, *BR2*. Контактами *RB* в проводах 268—269 разрывается цепь питания контактора *K1* реле тормоза и контактами *RB* в проводах 340—337 — цепь звонка *ZV*. После включения контактора управления *R* через провод 201 получают питание катушка контактора *MGS*, включающая двигатель-генератор, и через размыкающие блок-контакты *M* катушки тормозных контакторов *B1*, *B2*. После включения контактора *B1* его блок-контакт *B1* в проводах 212—213 размыкает цепь питания к двигателю генератора идет из контактной сети по цепи (см. рис. 88): предохранитель на 20 А — *MGS—SN—RMG—MG* — провод 100. Включается контактор *SN*, выполняющий функции реле минимального (нулевого) напряжения и контактора зарядки аккумуляторной батареи. Контакты *SN* в проводах 301—303 (см. рис. 89) подключают генератор к аккумуляторной батарее. При этом подзаряжается аккумуляторная батарея и переводится питание цепей управления с аккумуляторной батареи на генератор. Блок-контакты *SN* в проводах 211—212 подготавливают цепь для включения линейного контактора *LS*. После включения двигателя генератора начинается принудительная вентиляция тяговых двигателей и пускотормозных реостатов ускорителя.

Реверсивную рукоятку ставят в рабочее положение, например «Вперед», и тогда замкнутся контакты реверсора *PZ* и *P* и через

контакты *P* получат питание катушки реверсивных контакторов *P1—P4* (при положении рукоятки реверсора «Назад» замкнутся контакты *PZ* и *Z*, контакты *Z* включают катушки *Z1—Z4*).

После отпущения тормозной педали с положения защелки в нулевое положение включается катушка блокировочного реле *LO*, которое подготавливает к включению контактор *BR2* механического тормоза. Катушки соленоидов получают питание через резистор *RC*, при этом колодочные тормоза частично растормаживаются. Через кулачковый контактор *BK2* тормозного контроллера и размыкающую блокировку контактора *R1* получает питание катушка контактора *F2* и контактор *F2* включается.

Пуск вагона. Педаль контроллера хода имеет пять нефиксированных положений. При нажатии на одно из положений водитель выбирает ускорение, с которым будет работать вагон.

На 1-м ходовом положении педали включаются кулачковые контакторы контроллера *JK1(1—5)*, *JK2(1—5)*, *JK3(0—1)*, *JK6(1—5)* (см. рис. 45, б). Контактами *JK1* в проводах 209—210 замыкается цепь питания катушки контактора *M1* (см. рис. 89): провод 201—*BK2—JK1—PZ—SN—M1—RB* — провод 100. При включении контактора *M1* его блок-контакты в проводах 201—226 выключают тормозные контакторы *B1* и *B2*, а блок-контакты *M1* в проводах 204—205 включают контактор *BR1*. С включением контактора *BR1* происходит полное оттормаживание колодочных тормозов. Блок-контактами контактора *B1* в проводах 212—213 включается линейный контактор *LS*, после чего получают питание от контактной сети тяговые двигатели. Ток в тяговые двигатели идет через токоприемник, линейный контактор *LS*, катушку максимального реле *MR* и далее по двум параллельным цепям тяговых двигателей:

1-я цепь: провод 3—*MDR* — якоря 4-го и 3-го тяговых двигателей — *OR—P3* — обмотка возбуждения 4-го и 3-го тяговых двигателей — *P4* — шунт амперметра *Sh—M1*;

2-я цепь: провод 3—*P1* — обмотка возбуждения 2-го и 1-го тяговых двигателей (параллельно через контактор *F2* и индуктивный шунт) — *P2—MDR* — якоря 2-го и 1-го тяговых двигателей — *M1*. Далее ток обеих цепей двигателей идет через пусковой реостат *ZR*, две пусковые (демпферные) ступени резисторов на провод 100. Блок-контакты *LS* в проводах 223—224 включают контактор *R1*, выводящий первую ступень (0,7 Ом) демпферного резистора из цепи тяговых двигателей. Блок-контактами *R1* в проводах 209—217 отключается контактор *R2*, а второй парой контактов в проводах 201—225 включается контактор *R2*, который выключает вторую ступень (0,7 Ом) демпферного резистора. Включение на некоторое время пусковых демпферных резисторов и ослабление возбуждения 2-го и 1-го тяговых двигателей вызывает уменьшение вращающего момента тяговых двигателей, что необходимо для выбора люфтов в силовой передаче вагона. Это делает плавным начальный момент пуска вагона.

После включения контакторов *LS* и *R2* блок-контакты этих контакторов в проводах 200—230, 239—238 и 235—103 замыкают цепь питания якоря серводвигателя *PM*. Якорь *PM* питается от аккумуляторной батареи напряжением 12 В по цепи *ОБ1* — предохранитель на 100 А — *ОБ2*—*CRP* — провод 303 — предохранитель на 20 А — провод 200—*LS*—*RPM* — контакты *OR*—*PC*—*LS*—*PM*—*ZR7*—*R2* — провод 103—*ОБ2* — предохранитель 10 А—*ОБ1* — аккумуляторная батарея. Обмотка возбуждения серводвигателя *PM* постоянно подключена на напряжение 24 В (провод 201—*ОРМ* — провод 100). Серводвигатель начинает вращать крестовину ускорителя в направлении от 1-й к 99-й позиции, выводя пусковой реостат из цепи тяговых двигателей под контролем ограничительного реле *OR*, поддерживая значение пускового тока, которое определяется уставкой ограничительного реле. Во время пуска вагон разгоняется с ускорением, пропорциональным глубине нажатия ходовой педали. При пуске на первом положении педали в регулировочной катушке *RC* ограничительного реле идет наибольший ток, так как замкнут кулачковый контактор *JK3*. Пуск происходит при наименьшем токе в цепи тяговых двигателей 200—230 А на вагон, что соответствует ускорению 0,6 м/с² при ненагруженном вагоне. Во время пуска на втором положении педали размыкается кулачковый контактор *JK3*, а включается *JK4* и ток в регулировочной катушке *RC* уменьшается, соответственно увеличивается ток в силовой цепи до 280—300 А (в обеих цепях тяговых двигателей), и ускорение увеличивается до 0,95 м/с².

На 3-м и 4-м положениях педали ток в регулировочной катушке *RC* уменьшается, а на 5-м положении педали регулировочная катушка *RC* будет отключена, ток в силовой цепи увеличивается соответственно растет и ускорение движения вагона: на 3-м положении педали 1,2 м/с²; на 4-м 1,5 м/с²; на 5-м 1,8 м/с². На всех положениях ток регулирования устанавливается с точностью $\pm 5\%$ указанных значений. На любом положении выбранного ускорения пуск заканчивается выходом на максимальное ослабление возбуждения.

На 75-й позиции ускорителя его кулачковый контактор *ZR5* включает катушку контактора *M2* и завершается реостатный пуск. Крестовина ускорителя поворачивается дальше под контролем ограничительного реле. На 80-й позиции кулачковый контактор *ZR4* включает контактор *F4*, создавая первую ступень ослабления возбуждения 2-го и 1-го тяговых двигателей. На 85-й позиции кулачковый контактор *ZR6* ускорителя включает контактор *F5*, создающий первую ступень ослабления 4-го и 3-го тяговых двигателей. На 90-й позиции контактами *ZR5* включается контактор *F6*, создавая вторую ступень ослабления возбуждения 3-го и 4-го тяговых двигателей, и на 95-й позиции контактами *ZR3* включается контактор *F2*, создающий вторую ступень ослабления возбуждения 2-го и 1-го тяговых двигателей. Во время поочередного включения ступеней ослабления возбуждения тяговых двигателей по-прежнему происходят меньшие колебания силы тяги вагона по сравнению

одновременным включением обеих групп тяговых двигателей. На 97-й позиции ускорителя отключается кулачковый контактор *ZR7* в цепи проводов 235—240 и размыкается цепь питания якоря *PM*. Крестовина ускорителя проходит две позиции по инерции и останавливается на 99-й позиции.

Выбег. При возврате пусковой педали в нулевое положение размыкаются кулачковые контакторы контроллера хода *JK* (кроме *JK3*). Катушки контакторов *LS*, *M1* и *M2* продолжают получать питание через блок-контакты *R2*, шунтирующие кулачковый контактор *JK1*. Кулачковый контактор *JK2* отключает питание катушки *R1*, затем блок-контакт контактора *R1* отключает питание катушки *R2* и в цепь тяговых двигателей поочередно вводятся демпферные резисторы. После выключения контактора *R2* его блок-контактами в проводах 209—210 выключаются контакторы *LS*, *M1* и *M2* и питание тяговых двигателей прекращается. Такая последовательность отключения тяговых двигателей от контактной сети обеспечивает более плавное уменьшение ускорения, облегчает работу дуогасительных устройств контакторов и коммутацию тяговых двигателей.

Размыкающими блок-контактами *M1* в проводах 201—226 включаются тормозные контакторы *B1* и *B2*, а блок-контактами *R1* в проводах 209—217 включается контактор *F2*, создающий максимальное ослабление возбуждения 1-го и 2-го тяговых двигателей, что снижает тормозную силу вагона. После включения тормозных контакторов *B1* и *B2* в силовой цепи собираются два тормозных контура. Вагон Т-3 чистого выбега не имеет, тяговые двигатели при выбеге работают в генераторном режиме. Группы тяговых двигателей включаются между собой параллельно по перекрестной схеме. Тормозной ток якорей 3-го и 4-го тяговых двигателей замыкается по цепи (см. рис. 88) *MDR*—*P1* — обмотка возбуждения 2-го и 1-го тяговых двигателей (параллельно ток идет через контактор *F2* и индуктивный шунт) — *P2*—*B2* — тормозной реостат ускорителя *ZR*—*B1*—*LO* — якоря 3-го и 4-го тяговых двигателей. Аналогично тормозной ток якорей 1-го и 2-го тяговых двигателей замыкается по цепи *MDR*—*B2* — тормозной реостат ускорителя *ZR*—*B1*—*LO*—*OR*—*P3* — обмотка возбуждения 4-го и 3-го тяговых двигателей — *P4*—*Sh* — якоря 1-го и 2-го тяговых двигателей.

Блок-контакты контактора *B1* включают катушку подготовки *CP* ограничительного реле, подключенную параллельно обмоткам возбуждения 4-го и 3-го тяговых двигателей, а блок-контактами *F2* при выбеге шунтируется регулировочный резистор *RCP* в цепи катушки подготовки *CP*. В этом случае ток регулирования ограничительного реле снижается до (25 ± 5) А, а замедление от электрического торможения не превышает 0,14 м/с². После включения контактора *B2* якорь серводвигателя *PM* получает питание по цепи: аккумуляторная батарея — *ОБ1* — предохранитель на 100 А — *ОБ2*—*CRP* — предохранитель 20 А — *LS*—*RPM* — контакты *OR*—*PC*—*B2* — якорь *PM*—*B2*—*ОБ2* — предохранитель на 10 А — *ОБ1* —

средний вывод аккумуляторной батареи. Направление тока в якоре *РМ* изменяется и крестовина ускорителя под контролем ограничительного реле перемещается с 99-й позиции в направлении 1-й позиции по мере снижения скорости вагона.

Если во время выбега скорость вагона повысится (например, при движении на спуске), то увеличится тормозной ток двигателей, при этом контакты ограничительного реле *OR* разомкнутся в проводах 101—241, а замкнутся в проводах 241—100 (см. рис. 89). В этом случае ток в якорь *РМ* пойдет по цепи: средний вывод аккумуляторной батареи — *ОВ1* — предохранитель на 10 А — *ОВ2* — *В2* — якорь *РМ* — *В2* — *РС* — контакты *OR* — провод 100. Изменилось направление тока и направление вращения якоря серводвигателя *РМ* и крестовина ускорителя будет перемещаться в сторону увеличения тормозного сопротивления (вводится тормозной реостат) в тормозном контуре. Это будет продолжаться до тех пор, пока ток не снизится до 25—30 А. Таким образом, и в случае выбега крестовина ускорителя фиксирует соответствующую позицию в соответствии со скоростью вагона (большей скорости вагона соответствует более высокая позиция ускорителя).

Электрическое реостатное торможение. При нажатии на тормозную педаль (см. рис. 45, б) выключается кулачковый контактор *BK2* тормозного контроллера и размыкает цепь питания катушки контактора *F2* (см. рис. 89). Блок-контакты контактора *F2* отключаются и в цепи катушки подготовки *СР* вводится резистор *РСР* (см. рис. 88), в результате изменяется ток уставки ограничительного реле. Силовые цепи и цепи управления остаются такими же, как и при выбеге. Интенсивность электрического торможения зависит от глубины нажатия тормозной педали.

Как и при пуске, уставка ограничительного реле регулируется потенциометрами *РР1*, *РР2*, *РР3* и кулачковыми контакторами *BK3*, *BK4*, *BK5* тормозного контроллера. Имеются пять нефиксированных ступеней торможения. Замедление вагона при электрическом торможении находится в пределах 1,4—1,8 м/с².

Механическое торможение с соленоидным приводом (колодочный тормоз). Механический тормоз управляется блокировочным реле *LO* (см. рис. 89), имеющим две катушки: в цепи управления и в тормозном контуре тяговых двигателей. Контакты *LO* введены в цепи катушек контакторов *BR1* и *BR2* механических (колодочных) тормозов.

Катушки *С1*—*С4* включаются контакторами *BR1* и *BR2*. Когда включен контактор *BR1*, катушки *С1*—*С4* получают питание непосредственно от генератора *G* через контакты контактора зарядки *SN*, и механические тормоза полностью оттормозжены. Если контактор *BR1* выключен и включен контактор *BR2*, то в катушки *С1*—*С4* ток идет через добавочный резистор *RC*. В этом случае механические тормоза только частично оттормаживают вагон — первая ступень механического торможения. При выключении контактора *BR2* катушки *С1*—*С4* не получают питания и вагон затормаживается — вторая ступень механического торможения.

Механическое (колодочное) торможение вступает в действие при выключении катушки блокировочного реле или при снижении тока в тормозном контуре тяговых двигателей (при истощении электрического торможения), а также при выключении реле безопасности *RB*, через контакты которого получают питание катушки *BR1* и *BR2*.

При электрическом торможении блокировочное реле *LO* остается включенным намагничивающей силой силовой катушки *LO*, включенной в силовой контур тяговых двигателей. С переводом тормозной педали на пятое положение контакты кулачкового контактора *BK8* (0—4) тормозного контроллера выключаются и размыкают цепь питания катушки *LO*, подготавливая схему замещения торможения. Когда скорость вагона снизится до 4 км/ч, ток в тормозном контуре становится менее 120 А, что недостаточно для удержания якоря блокировочного реле *LO* в притянутом состоянии. В этом случае размыкаются контакты *LO* в цепях катушек *BR1* и *BR2* и вступает в действие механическое торможение.

После возвращения тормозной педали в нулевое положение снова замыкается кулачковый контактор *BK8*, включается катушка реле *LO* и его контактами замыкается цепь питания катушки *BR2*. Происходит переход со 2-й позиции механического торможения на 1-ю, так как катушки *С1*—*С4* получают питание через резистор *RC*. Полное оттормаживание вагона происходит при нажатии пусковой педали, когда включится контактор *M1* и замыкающими блок-контактами в проводах 204—205 замкнет цепь питания катушки *BR1*. После включения реле *BR1* оно своими блок-контактами шунтирует контакты *M1* — это обеспечивает удержание катушки *BR1* во включенном состоянии не только при пуске, но и во время выбега и торможения при достаточно высокой скорости вагона. Катушки *С1*—*С4* шунтированы диодом *SC*, что обеспечивает плавное оттормаживание и облегчает гашение дуги контакторами *BR1* и *BR2*.

Когда тормозная педаль установлена в положение стоянки, кулачковый контактор *BK8* отключает катушку блокировочного реле *LO* в цепи управления и контакторы колодочных тормозов *BR1* и *BR2* будут выключены, что соответствует второй позиции механического торможения. В этом случае тормозная педаль удерживается защелкой.

Экстренное торможение. В случае более глубокого нажатия на тормозную педаль вступает в действие электромагнитное рельсовое торможение. Оно может быть осуществлено в две ступени: на первой ступени замыкается кулачковый контактор *BK7* тормозного контроллера в цепи катушки контактора *K2*, который включает катушки рельсовых тормозов *KB2* и *KB4* задней тележки. На второй ступени тормозной педали замыкается кулачковый контактор *BK6* в цепи катушки *K1*, который включает катушки *KB1* и *KB3* рельсовых тормозов передней тележки.

Рельсовые тормоза включаются также при потере водителем бдительности и ослаблении нажатия педали безопасности. В этом

случае размыкаются контакты педали безопасности *BS* и выключается реле безопасности *RB*, которое выключает контакторы *M1*, *M2*, *LS*, *BR1*, *BR2*. При этом отключается тяговый режим и включается механический тормоз. Одновременно контактами *RB* в цепи проводов 268—269 включается контактор *K1* и его блок-контактами в проводах 269—270 включается контактор *K2*, который включает рельсовые тормоза. Блок-контактами *RB* в цепи проводов 340—337 включается звуковой сигнал *ZV*.

Аналогичное действие вызовет нажатие на кнопку экстренного тормоза *ZS*, размещенную у задней двери вагона. Когда нажимают на кнопку *ZS*, подается питание на выключающую катушку *RBV* реле безопасности. Эта катушка создает встречную намагничивающую силу по отношению к намагничивающей силе включающей катушки *RBZ* и реле безопасности *RB* выключается. При выключении реле *RB* действует на все цепи, так же как в случае отпуска педали безопасности.

Защита электрооборудования. Для защиты тяговых двигателей и электрооборудования от перегрузок и коротких замыканий служит максимальное реле *MR* (см. рис. 88), встроенное в линейный контактор *LS*. Оно регулируется на ток срабатывания 750 А.

Дифференциальное реле *MDR* предназначено для защиты оборудования от неполных коротких замыканий в силовых цепях тяговых двигателей, когда замыкание на «землю» происходит через какое-либо сопротивление и ток не достигает значения, на которое отрегулировано реле максимального тока.

Для защиты от толчков тока при перерывах питания тяговых двигателей служит контактор заряда *SN*. При исчезновении напряжения в контактной сети прерывается питание двигателя генератора *MG* и катушки контактора заряда *SN*, включенной последовательно с ним. При выключении контактора *SN* его блок-контактами в цепи проводов 211—212 (см. рис. 89) отключаются контакторы *M1*, *M2* и *LS*. Контактор *LS* блок-контактами выключает контактор *R1*. Блок-контакты контактора *R1* выключают контактор *R2*, после чего включаются контакторы *B1*, *B2* и *F2* и вагон переходит на вые́г. Второй парой контактов *SN* в проводах 302—303 отключается генератор *G* от аккумуляторной батареи, что предотвращает ее разряд на генератор. После восстановления напряжения в контактной сети снова включается контактор *SN* и происходит повторный пуск вагона, т. е. тяговые двигатели подключаются к контактной сети через демпферные резисторы.

ГЛАВА IX

ИМПУЛЬСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ

40. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Под импульсными системами управления тяговым приводом понимают такие системы управления, в которых используется один или несколько импульсных регуляторов, осуществляющих регулирование того или иного параметра (тока, напряжения, скорости и т. п.) посредством дискретного (прерывистого) изменения другого параметра.

Появление импульсных систем управления на городском электрическом транспорте явилось следствием развития силовой полупроводниковой техники.

Появились мощные кремниевые диоды и тиристоры, способные пропускать токи в несколько сотен ампер и выдерживать напряжения свыше тысячи вольт. Тиристоры и диоды, обладая малой массой и размерами, высоким коэффициентом полезного действия (малыми потерями энергии), большим быстродействием, обеспечили перспективу применения их на подвижном составе городского электрического транспорта, в частности, для управления тяговыми электродвигателями. Характерная нелинейность вольт-амперных характеристик управляемых и неуправляемых диодов (рис. 90) обусловила появление большого класса бесконтактных схем различного рода статических преобразователей, в том числе преобразователей постоянного тока.

Как видно из рис. 90, *а*, если к диоду приложить обратное напряжение (плюс к катоду, минус к аноду), то через него будет протекать очень малый ток — ток утечки (участок 1) и практически все напряжение будет приложено к диоду. Если же приложить к диоду прямое напряжение (плюс — к аноду, минус — к катоду), то через него может протекать значительно больший ток (сотни ампер). При этом падение напряжения на диоде составляет не более 1,5—2,0 В (участок 2). Из приведенной характеристики видно, что потери в диоде $p = U_a i_a$ невелики: на правой ветви благодаря малому падению напряжения, на левой — из-за малого значения тока утечки.

Управляемый диод (тиристор) в обратном направлении имеет аналогичную характеристику (см. рис. 90, *б*, участок 1). Если к тиристору приложить прямое напряжение, то через него протекает малый ток утечки — участок 3 — вплоть до точки *А*. Точке *А* соот-

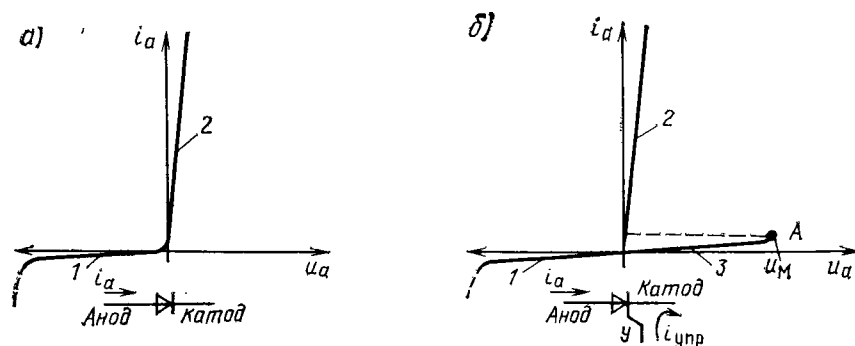


Рис. 90. Вольт-амперная характеристика диода (а) и тиристора (б)

ветствует максимальное анодное напряжение U_M , которое превышать не рекомендуется. Чтобы открыть тиристор, т. е. перейти с участка 3 на участок 2 вольт-амперной характеристики, пропускают ток управления i_{yp} (не более 0,4—1,0 А) от управляющего электрода У к катоду. Время включения современных тиристорov составляет в зависимости от типа от 5 до 30 мкс. После перехода на участок 2 тиристор остается в проводящем состоянии даже после прекращения тока управления.

Для обратного перехода с участка 2 на участок 3 (запирания тиристора в прямом направлении) необходимо в течение определенного времени τ_b (времени восстановления) обеспечить условие $i_a < i_{уд}$, т. е. в течение τ_b ток i_a , протекающий через анод тиристора, должен быть меньше тока удержания (для мощных тиристорov $i_{уд}$ не более 0,1—0,5 А). Время восстановления современных тиристорov составляет от 12 до 250 мкс (необходимо отметить, что современные тиристоры, как правило, имеют тем большее рабочее напряжение, чем меньше их время восстановления).

Благодаря указанным свойствам полупроводниковых приборов построенные на их основе тиристорные регуляторы постоянно-го тока для подвижного состава городского электрического транспорта могут успешно решать все задачи управления тяговыми электродвигателями и поэтому тиристорное управление является одним из перспективных направлений в развитии систем управления тяговыми электродвигателями.

Замена контактно-реостатных систем управления на бесконтактные тиристорно-импульсные системы позволяет получить важные преимущества, а именно:

применение безреостатного пуска и рекуперативного торможения во всем диапазоне рабочих скоростей подвижного состава позволяет снизить расход электроэнергии на движение на 25—40 %;

бесступенчатое регулирование тока в тяговых электродвигателях обеспечивает исключительную плавность пуска и торможения подвижного состава;

отсутствие резких колебаний тока в тяговых двигателях, а также возможность применения двигателей большей мощности позволяют увеличить динамические показатели подвижного состава: ускорение, замедление и скорость сообщения без увеличения массы двигателя;

замена контактной аппаратуры более надежными в эксплуатации бесконтактными элементами позволяет снизить затраты на текущее обслуживание электрооборудования;

уменьшение токов тяговой сети при пусках и возврат электроэнергии в сеть при рекуперативном торможении уменьшают падение напряжения в тяговой сети и, следовательно, повышают средний уровень напряжения в ней, что позволяет дополнительно увеличить скорость сообщения подвижного состава.

Недостатками тиристорного регулирования на подвижном составе городского электрического транспорта являются:

большая начальная стоимость оборудования;
несколько бóльшая масса электрооборудования (на 5,0—10 %);

относительная сложность системы управления;
потребность в более квалифицированном обслуживающем персонале.

Однако продолжение совершенствования тиристорной техники, конструкции и технологии изготовления новых видов электрооборудования, а также совершенствование эксплуатации подвижного состава с тиристорным управлением убеждают, что отмеченные недостатки тиристорных систем управления постоянно уменьшаются и не являются определяющими.

41. ИМПУЛЬСНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПЯЖЕНИЯ НА ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ПРИ ПУСКЕ

Импульсный способ регулирования напряжения на приводных электрических машинах известен сравнительно давно, однако только с появлением силовых полупроводниковых приборов, в первую очередь тиристорov и диодов, он начал применяться на городском электрическом транспорте.

Благодаря высокому быстродействию (малым временам включения) тиристорные регуляторы способны подводить напряжение к тяговым двигателям очень короткими импульсами. При этом среднее напряжение на двигателе определяется параметрами этих импульсов — формой, длительностью и частотой их следования.

Рассмотрим принципиальную схему включения тиристорного регулятора напряжения на тяговом двигателе при пуске (рис. 91, а). Здесь нагрузка, состоящая из двигателя с обмоткой последовательного возбуждения ОВ, питается от контактной сети постоянного тока U_{kc} через тиристорно импульсный регулятор напряжения (ТИР), условно изображенный в виде тиристора в прямоугольнике. Работу такого тиристорного регулятора будем пред-

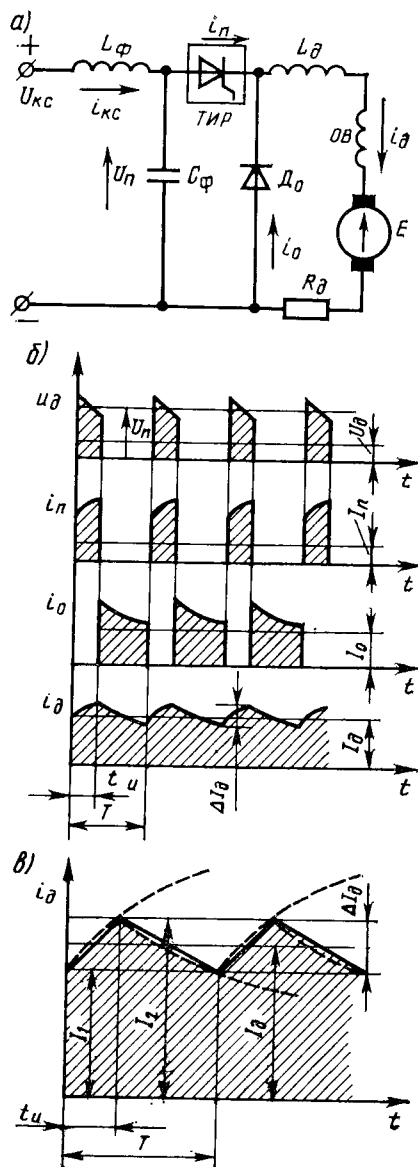


Рис. 91. Схема включения ТИР при пуске (а) и осциллограммы (б, в)

сравнительно невелики. Поэтому при рассмотрении процессов в двигателях при импульсном регулировании будем считать напряжение на C_{ϕ} неизменным и равным напряжению в контактной сети

$$U_{\pi} = U_{\kappa c} = \text{const.}$$

ставлять как работу замыкающегося и размыкающегося ключа. Цепь нагрузки шунтирована диодом D_0 .

В общем случае такую нагрузку можно заменить эквивалентными последовательно включенными резистором $R_{\text{д}}$, индуктивной катушкой $L_{\text{д}}$ и источником напряжения E . Напряжение E зависит от магнитного потока C_{ϕ} и частоты вращения якоря, т. е. скорости подвижного состава v , таким образом $E = C_{\phi} v$. Сопротивление $R_{\text{д}}$ и индуктивность $L_{\text{д}}$ включают в себя сумму соответственно сопротивлений и индуктивностей обмоток якоря, главных и добавочных полюсов двигателя, а также сопротивление и индуктивность сглаживающего дросселя, включаемого последовательно с двигателем для уменьшения в нем пульсаций тока и напряжения. Пульсации токов и напряжений обусловлены периодическим изменением параметров схемы с помощью тиристорного ключа ТИР. Чаще всего эти пульсации являются нежелательными и поэтому в схемах применяют различного рода сглаживающие устройства.

Сглаживание пульсаций тока в контактной сети $i_{\kappa c}$ обеспечивает входной Г-образный фильтр, состоящий из конденсатора C_{ϕ} и катушки индуктивности L_{ϕ} . Входной фильтр обеспечивает непрерывный ток в контактной сети $i_{\kappa c}$ при прерывистом токе через тиристорный прерыватель $i_{\text{т}}$, а также ограничивает пульсацию напряжения на тиристорном прерывателе при его включениях и выключениях.

При достаточно мощном входном фильтре пульсации тока в контактной сети и напряжения на конденсаторе

Если периодически замыкать и размыкать ТИР, то к цепи нагрузки будет прикладываться напряжение источника питания U_{π} на время замкнутого состояния ТИР. После размыкания ТИР напряжение на нагрузке будет равно нулю.

На рис. 91, б время замкнутого состояния ТИР, в течение которого к нагрузке приложен импульс напряжения U_{π} , обозначено через $t_{\text{н}}$, а период включения — через T . Период включения T связан с частотой работы тиристорного ключа f известным соотношением $T = 1/f$.

При замыкании ТИР ток $i_{\text{т}}$ от источника питания протекает через двигатель и к диоду D_0 в обратном направлении приложено напряжение U_{π} . В этот интервал времени $t_{\text{н}}$ ток в двигателе $i_{\text{д}}$ равен току, потребляемому от источника питания $i_{\text{т}}$, и нарастает в соответствии с параметрами этого источника и нагрузки.

После размыкания ТИР ток в двигателе будет протекать в том же направлении, замыкаясь через диод D_0 вследствие э. д. с. самоиндукции, наводимой в индуктивности $L_{\text{д}}$. В этот период времени (паузы) ток в нагрузке уменьшается.

При рассмотрении процессов в тяговом двигателе, работающем совместно с ТИР, сделаем следующие допущения, упрощающие вывод основных закономерностей:

источник питания идеальный, т. е. сопротивление и индуктивность его равны нулю, пульсации питающего напряжения малы;

постоянная времени цепи нагрузки $T_{\text{н}} = L_{\text{д}}/R_{\text{д}}$ много больше периода следования импульсов T ;

механическая постоянная времени тягового привода много больше периода T , т. е. за время периода T скорость подвижного состава не изменяется;

потери энергии в прерывателе тока ТИР равны нулю;

время включения и выключения ТИР мало по сравнению с периодом регулирования T .

Первое допущение правомерно при достаточно мощном входном фильтре. Второе допущение без больших погрешностей позволяет заменить нелинейный закон изменения тока в цепи нагрузки линейным (рис. 91, в). При этом скорость нарастания тока на интервале $0 \leq t \leq t_{\text{н}}$ может быть определена как отношение $\Delta I_{\text{д}}/t_{\text{н}}$, а на интервале $t_{\text{н}} \leq t \leq T$ как отношение $[-\Delta I_{\text{д}}/(T - t_{\text{н}})]$. Отсюда для напряжения на индуктивности нагрузки $L_{\text{д}}$ можно записать:

$$U_z = L_{\text{д}} \frac{\Delta I_{\text{д}}}{t_{\text{н}}} \quad \text{при } 0 \leq t \leq t_{\text{н}};$$

$$U_z = -L_{\text{д}} \frac{\Delta I_{\text{д}}}{T - t_{\text{н}}} \quad \text{при } t_{\text{н}} \leq t \leq T.$$

Третье допущение вносит очень малую погрешность и позволяет при рассмотрении процессов в пределах одного или даже нескольких периодов регулирования T считать скорость и, следовательно, э. д. с. тягового двигателя неизменными. Четвертое допущение при токах и напряжениях, имеющих место при импульсном регулировании на подвижном составе городского электрического

транспорта, не вносит большой погрешности и является общепринятым в инженерных расчетах. Последнее допущение лишь ограничивает диапазон изменения времени импульса в пределах периода регулирования $T (t_0 \leq t_n \leq T)$.

Во всем последующем изложении будем рассматривать только установившиеся процессы, т. е. считать, что токи в цепях с индуктивностью и напряжения на конденсаторах в начале и в конце каждого периода T одинаковы.

Для схемы рис. 91, а можно записать

$$I_d = \frac{U_d - E}{R_d}, \quad (50)$$

где I_d , U_d — средние значения тока и напряжения нагрузки.

Из рассмотрения кривых мгновенного (импульсного) напряжения на нагрузке U_d (рис. 91, б) можно заключить, что среднее за период T напряжение на нагрузке

$$U_d = U_n t_n / T. \quad (51)$$

Отношение t_n/T называют относительным временем включенного состояния импульсного регулятора, или коэффициентом заполнения регулятора, и обозначают через λ , т. е. $t_n/T = t_n f = \lambda$. Здесь $f = 1/T$ — частота следования импульсов.

Отсюда можно сделать вывод: при импульсном управлении среднее напряжение на двигателях пропорционально коэффициенту заполнения импульсного регулятора, и при пуске этот коэффициент изменяется от некоторого начального значения до 1.

$$U_d = \lambda U_n. \quad (52)$$

Из выражения (52) видно, что среднее напряжение на двигателе можно изменять тремя способами:

1) амплитудный способ, при котором среднее напряжение на нагрузке меняется при изменении значения (формы подводимых импульсов) напряжения, т. е. $U_n = \text{var}$; $t_n = \text{const}$; $f = \text{const}$;

2) частотный способ, при котором среднее напряжение меняется при изменении периода (частоты) следования импульсов постоянного напряжения, т. е. $U_n = \text{const}$; $t_n = \text{const}$; $f = \text{var}$;

3) широтный способ, при котором среднее напряжение меняется при изменении ширины импульса t_n постоянного по значению напряжения, т. е. $U_n = \text{const}$; $t_n = \text{var}$; $f = \text{const}$.

Амплитудный способ регулирования иногда применяют на подвижном составе с автономным питанием. В городском электрическом транспорте этот способ использовать невозможно, так как от контактной сети с постоянным напряжением питается одновременно много потребителей (единиц подвижного состава), находящихся в различных условиях.

Частотный способ изменения среднего напряжения на двигателе постоянного тока изменением частоты регулирования в принципе может быть использован на городском транспорте. Он обладает некоторыми преимуществами перед другими способами, такими, как простота и, следовательно, надежность регулятора и его

схемы управления. Однако по экономическим показателям, а также по массе и размерам оборудования частотные системы управления пока уступают системам с широтным управлением. Частотный способ в отдельных случаях с успехом используют на железнодорожном подвижном составе, особенно повышенного напряжения.

Широтный способ регулирования распространен в приводах постоянного тока, в том числе и на транспорте. Иногда широтный способ применяют в сочетании с частотным.

В качестве технических показателей при импульсном управлении используют такие параметры, как пульсации тока нагрузки, диапазон регулирования среднего напряжения на нагрузке, пульсации тока и напряжения источника питания, частота регулирования, коэффициент полезного действия импульсной системы регулирования и др.

Одним из важных показателей качества импульсного регулятора при любом способе управления являются пульсации тока в тяговом двигателе $\Delta I_d = I_1 - I_2$ (рис. 91, в), так как они влияют на качество работы и срок службы двигателя. С ростом пульсаций тока ΔI_d увеличиваются электрические и магнитные потери в тяговых двигателях, а также ухудшается его коммутация.

Запишем уравнения для цепи рис. 91, а при замкнутом и разомкнутом ТИР с учетом выше приведенных допущений:

$$U_n - E = L_d \frac{\Delta I_d}{t_n} + I_d R_d \quad \text{при } 0 \leq t \leq t_n; \quad (53)$$

$$-E = -L_d \frac{\Delta I_d}{T - t_n} + I_d R_d \quad \text{при } t_n \leq t \leq T, \quad (54)$$

где I_d и E — средние за период T значения тока нагрузки и э. д. с. вращения двигателя.

Подставляя значение E из выражения (53) в уравнение (54), после преобразований с учетом, что $\lambda = t_n/T$ и $f = 1/T$, получим

$$\Delta I_d = \frac{U_n}{f L_d} \lambda (1 - \lambda). \quad (55)$$

Таким образом, пульсации тока в тяговом двигателе при импульсном регулировании напряжения прямо пропорциональны питающему напряжению U_n обратно пропорциональны индуктивности цепи нагрузки L_d и частоте регулирования f . Кроме того, пульсации тока нелинейно зависят от коэффициента заполнения регулятора напряжения λ .

Максимальное значение ΔI_d достигает при $\lambda_m = 0,5$. Следовательно,

$$\Delta I_{dm} = \frac{U_n}{4 L_d f}. \quad (56)$$

На рис. 92 представлены зависимости пульсаций ΔI_d и огибающих тока нагрузки i_d от λ , из которых видно, что минимальная

пульсация тока соответствует $\lambda=0$ и $\lambda=1$, а максимальная пульсация тока — $\lambda_m=0,5$, что вытекает из выражения (55).

Обычно при пуске тяговых двигателей среднее значение тока в них поддерживается постоянным. Для обеспечения постоянства пускового тока I_d важно знать закон, по которому следует менять значение λ по мере увеличения скорости двигателя.

С увеличением скорости подвижного состава v растет э.д.с. вращения двигателя $E=c\Phi v$ по линейному закону, так как $c\Phi = \text{const}$ при $I_d = \text{const}$. Следовательно, из уравнения (50) с учетом выражения (52) получим

$$\lambda = \frac{c\Phi v + I_d R_d}{U_{\pi}}. \quad (57)$$

Обозначим $\frac{c\Phi v}{U_{\pi}} = \lambda_p$, $\frac{I_d R_d}{U_{\pi}} = \lambda_0$. Здесь λ_p — регулируемый коэффициент заполнения; λ_0 — начальный (нерегулируемый) коэффициент заполнения. При пуске в начальный момент (при $v=0$) для обеспечения заданного тока I_d тиристорный регулятор должен работать с коэффициентом заполнения λ_0 , а по мере увеличения скорости v от нуля до скорости выхода на автоматическую характеристику двигателя регулируемый коэффициент заполнения λ_p меняется от 0 до $1-\lambda_0$.

Отсюда вытекает требование к тиристорно-импульсному регулятору: минимальное время, в течение которого подводится напряжение источника к нагрузке, не должно быть больше времени

$$t_0 = \frac{I_d R_d}{U_{\pi} f}. \quad (58)$$

Таким образом, при пуске: $0 \leq v \leq v_{\text{вых}}$; $\lambda_0 \leq \lambda \leq 1$.

При тиристорно-импульсном регулировании напряжения на двигателе в процессе пуска средний ток I_{π} , потребляемый от источника питания, меняется от некоторого минимального значения до тока, равного среднему пусковому току двигателя I_d . Зависимость, определяющую характер изменения среднего тока источника питания при пуске, можно определить из закона сохранения энергии, полагая при этом, что потери в активных сопротивлениях источника и активные потери входного фильтра $L_{\phi} C_{\phi}$ равны нулю. В этом случае с учетом ранее сделанных допущений:

$$I_{\pi} U_{\pi} t = \frac{U_{\pi} I_d t}{\eta_p}, \quad (59)$$

где η_p — к.п.д. тиристорного регулятора, принимаемый 0,95—0,97.

С учетом выражения (52) из уравнения (59) получим

$$I_{\pi} = \frac{\lambda I_d}{\eta_p} = \frac{(\lambda_0 + \lambda_p) I_d}{\eta_p}. \quad (60)$$

Следовательно, минимальный (начальный при пуске) ток, потребляемый от источника питания,

$$I_{\pi 0} = \frac{\lambda_0 I_d}{\eta_p} = \frac{I_d^2 R_d}{U_{\pi} \eta_p}. \quad (61)$$

При увеличении скорости подвижного состава в процессе пуска при постоянном токе в двигателе ток источника питания согласно выражениям (58) и (60)

$$I_{\pi} = \frac{I_d^2 R_d}{U_{\pi} \eta_p} + \frac{c\Phi I_d}{U_{\pi} \eta_p} v. \quad (62)$$

Зависимости $I_{\pi}(v)$ и $\lambda(v)$ показаны на рис. 93. В момент достижения подвижным составом скорости выхода на естественную характеристику $v(I_d)$ — точку А коэффициент λ достигает значения единицы, а ток источника питания становится равным I_d . При дальнейшем увеличении скорости токи двигателя и источника питания остаются равными между собой и уменьшаются в соответствии с характером зависимости $v(I_d)$.

Из характеристик изменения тока источника питания при пуске тягового двигателя в диапазоне $0 \leq v \leq v_{\text{вых}}$ видно, что при тиристорно-импульсном регулировании напряжения мощность, потребляемая от источника питания, меняется от $U_{\pi} I_{\pi 0}$ до $U_{\pi} I_d$, в то время как при реостатном пуске двигателя мощность, потребляемая от источника питания, остается постоянной и равной $U_{\pi} I_d$ во всем диапазоне скоростей от 0 до $v_{\text{вых}}$.

Поэтому расход электроэнергии за время реостатного пуска t_{π}

$$A_p = U_{\pi} I_d t_{\pi}. \quad (63)$$

Расход энергии при безреостатном пуске с ТИР $A_{\text{бр}} = U_{\pi} I_{\pi} t_{\pi}$. С учетом формулы (60) получим

$$A_{\text{бр}} = U_{\pi} I_d \lambda_{\text{ср}} / \eta_p.$$

Так как пуск совершают с постоянным ускорением, скорость на интервале времени $0 \leq t \leq t_{\pi}$ увеличивается по прямолинейному закону. Следовательно, в соответствии с формулой (57) и коэффициент заполнения λ в процессе пуска также изменяется по прямой (см. рис. 93). Таким образом, расход электроэнергии при безреостатном пуске за время t_{π} можно представить как

$$A_{\text{бр}} = U_{\pi} I_d \frac{\lambda_{\text{ср}} t_{\pi}}{\eta_p},$$

где $\lambda_{\text{ср}}$ — среднее значение коэффициента заполнения регулятора за время пуска t_{π} ; $\lambda_{\text{ср}} = 0,5(1 + \lambda_0)$.

Следовательно,

$$A_{\text{бр}} = U_{\pi} I_d \frac{(1 + \lambda_0) t_{\pi}}{2 \eta_p}. \quad (64)$$

Значение λ_0 обычно невелико (0,03—0,08) и, если принять $\lambda_0 \approx 0$, а $\eta_p \approx 1$, получим

$$A_{\text{бр}} \approx U_{\pi} I_d \frac{t_{\pi}}{2}.$$

Из сравнения выражений (63) и (64) можно записать $A_p \approx 2A_{\text{бр}}$.

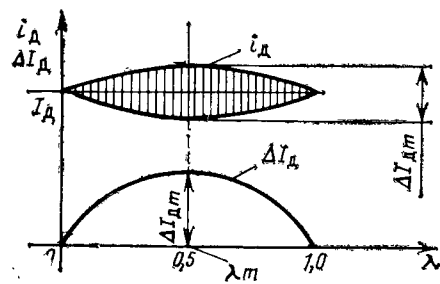


Рис. 92. Зависимость пульсаций тока в тяговом двигателе от коэффициента заполнения ТИР

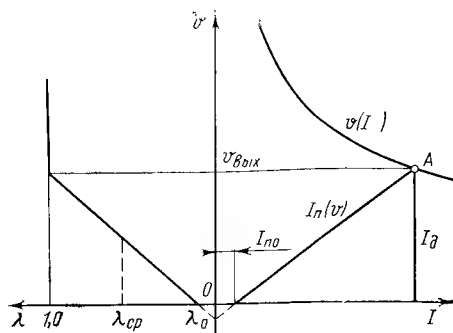


Рис. 93. Зависимости $I_n(v)$, $I_d(v)$ и $\lambda(v)$ при пуске

Таким образом, при пуске подвижного состава до выхода на автоматическую характеристику расход электроэнергии при тиристорно-импульсном регулировании напряжения почти в 2 раза меньше, чем при реостатном пуске.

Этот важный вывод в условиях городского движения с его частыми пусками и торможениями обеспечивает тиристорно-импульсным системам управления неоспоримые преимущества по сравнению с системами реостатного пуска.

42. ИМПУЛЬСНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПЯЖЕНИЯ НА ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ

Электрическое торможение. В тиристорно-импульсных системах управления регулирование напряжения на тяговых двигателях (генераторах) в режиме электрического торможения осуществляется периодическим изменением цепи нагрузки с помощью тиристорного регулятора. В зависимости от характера нагрузки различают рекуперативное или реостатное торможение.

При рекуперативном торможении нагрузкой является контактная сеть с потребителями электроэнергии в виде других единиц подвижного состава, работающих в режиме тяги.

Нагрузкой при реостатном торможении является тормозной реостат, устанавливаемый на подвижном составе.

Нетрудно видеть, что надежность реостатного торможения существенно выше, чем рекуперативного, поскольку реостатный тормоз не зависит от условий токосъема, наличия потребителей в контактной сети, соотношения суммарной мощности рекуперированной и потребляющей подвижного состава на данном участке питающей сети и т. д. С другой стороны, при реостатном торможении вся энергия движущейся транспортной единицы переходит в тепловую энергию тормозных реостатов, в то время как при рекуперативном

торможении эта энергия возвращается в сеть потребителям (другим транспортным единицам).

Современные системы тиристорно-импульсного регулирования позволяют осуществить необходимое сочетание преимуществ обоих видов торможения, в частности, так называемое следящее рекуперативно-реостатное торможение.

При следящем рекуперативно-реостатном торможении основным видом служебного торможения является рекуперативное торможение, которое само по себе обеспечивает снижение общего расхода электроэнергии на движение, а реостатное торможение является только замещающим, когда рекуперативное не может обеспечить заданных параметров торможения (замедления) по внешним причинам (нарушение токосъема, колебания уровня напряжения в контактной сети, отсутствие потребителя). При этом переход с рекуперативного торможения на реостатное и обратно происходит практически мгновенно. Следует отметить, что возможно и совместное действие рекуперативного и реостатного торможения, так как при переходе на реостатное торможение схема рекуперативного торможения сохраняется. Совмещенное рекуперативно-реостатное торможение может осуществляться в том случае, когда суммарная мощность потребителей электроэнергии на участке меньше мощности, отдаваемой в сеть рекуперированным подвижным составом. Тогда часть энергии тормозящей транспортной единицы возвращается в сеть, а остальная энергия преобразуется в тепловую энергию тормозных реостатов.

Таким образом, следящий рекуперативно-реостатный тормоз позволяет обеспечить надежное и экономичное торможение подвижного состава в широком диапазоне скоростей движения.

Рекуперативное торможение. Принципиальная схема рекуперативного торможения с тиристорно-импульсным регулятором приведена на рис. 94, а.

При рекуперативном торможении двигатель, работающий в режиме генератора, шунтируется ТИР, который, как и при пуске, работает в импульсном режиме. Нулевой диод D_0 при рекуперативном торможении включается последовательно с источником питания $U_{\text{п}}$, предотвращая протекание тока от этого источника через замкнутый ключ ТИР. Г-образный фильтр $L_{\text{ф}}$, $C_{\text{ф}}$ включен между системой регулирования и контактной сетью. Он, как и при пуске, обеспечивает сглаживание тока $i_{\text{кс}}$, поступающего в контактную сеть, при импульсной форме тока $i_{\text{п}}$, подводимого к фильтру от тягового двигателя через диод D_0 .

После замыкания ТИР ток тягового двигателя i_d под действием э.д.с. вращения E нарастает по короткозамкнутому контуру через сопротивление резистора $R_{\text{п}}$ и индуктивность катушки $L_{\text{п}}$. С учетом ранее сделанных допущений напряжение на генераторе $U_{\text{аб}}$ в этом случае будет равно нулю (рис. 94, б).

При размыкании ТИР ток двигателя i_d под действием суммы э.д.с. вращения и э.д.с. самоиндукции будет протекать через диод D_0 и источник питания. В этот момент энергия двигателя передает-

ся источнику питания, т. е. происходит рекуперация энергии. В период рекуперации ток двигателя уменьшается по мере снижения э.д.с. самоиндукции, наводимой в суммарной индуктивности цепи двигателя L_d .

В режиме рекуперации, когда ТИР разомкнут, напряжение на зажимах генератора $U_{аб}$ равно напряжению на конденсаторе фильтра U_n , которое, как указывалось ранее, при достаточно мощном фильтре можно принять постоянным и равным среднему напряжению в контактной сети $U_{кс}$.

Если, как и при пуске, время замкнутого состояния ТИР обозначить через t_n и время разомкнутого состояния ($T - t_n$), то среднее напряжение на зажимах двигателя (генератора)

$$U_d = U_{аб} = \frac{U_n (T - t_n)}{T} = U_n \left(1 - \frac{t_n}{T}\right) = U_n (1 - \lambda). \quad (65)$$

Это напряжение связано с э.д.с. вращения двигателя уравнением

$$E = U_d + I_d R_d. \quad (66)$$

Принимая во внимание, что $E = c\Phi v$, с учетом уравнений (65) и (66) можно записать

$$v = \frac{U_n (1 - \lambda) + I_d R_d}{c\Phi}. \quad (67)$$

Для определения пульсаций тока тягового двигателя при рекуперативном торможении запишем с учетом допущений п. 41 уравнения двигателя в режимах замкнутого и разомкнутого состояний ТИР:

$$E = L_d \frac{\Delta I_d}{t_n} + I_d R_d \text{ при } 0 \leq t \leq t_n. \quad (68)$$

$$E - U_n = -L_d \frac{\Delta I_d}{T - t_n} + I_d R_d \text{ при } t_n \leq t \leq T. \quad (69)$$

Вычитая из (68) уравнение (69) и учитывая, что $\lambda = t_n/T$ и $f = 1/T$, после алгебраических преобразований получим

$$\Delta I_d = \frac{U_n}{L_d f} \lambda (1 - \lambda).$$

Таким образом при рекуперативном торможении, как и при пуске, пульсация тока пропорциональна напряжению в контактной сети, обратно пропорциональна суммарной индуктивности в цепи двигателя и частоте регулирования ТИР.

Максимальная пульсация тока двигателя при рекуперативном торможении также соответствует $\lambda_m = 0,5$, т. е.

$$\Delta I_d = \frac{U_n}{4L_d f}.$$

Таким образом, кривые, приведенные на рис. 92, справедливы и для рекуперативного торможения.

Для устойчивого рекуперативного торможения необходимо, чтобы в режиме паузы (когда ТИР разомкнут) ток в тяговом двигателе уменьшался. Это условие будет выполняться, если $E < U_n (1 - \lambda) + I_d R_d$. Оно должно выполняться при любых возможных значениях λ . Итак, наибольшая или критическая скорость $v_{кр}$, при которой рекуперативное торможение будет еще устойчиво, зависит от напряжения в контактной сети, магнитного потока и тока в двигателе, а также коэффициента заполнения регулятора. Причем наибольшая критическая скорость торможения соответствует минимальному значению коэффициента заполнения регулятора λ_0 , которое зависит от быстродействия тиристорного регулятора, а также схемы самого регулятора

$$v_{кр} = \frac{U_n (1 - \lambda_0) + I_d R_d}{c\Phi}. \quad (70)$$

Минимальная скорость v_{min} , при которой прекращается рекуперация энергии в сеть, будет соответствовать $\lambda = 1$. Согласно уравнению (67) имеем

$$v_{min} = \frac{I_d R_d}{c\Phi}. \quad (71)$$

Для подвижного состава $v_{min} = (3 \div 5)$ км/ч, т. е. при импульсном управлении рекуперативное торможение может осуществляться практически до полной остановки.

При рекуперативном торможении энергия, отдаваемая в контактную сеть за время торможения t_τ , равна $I_n U_n t_\tau$,

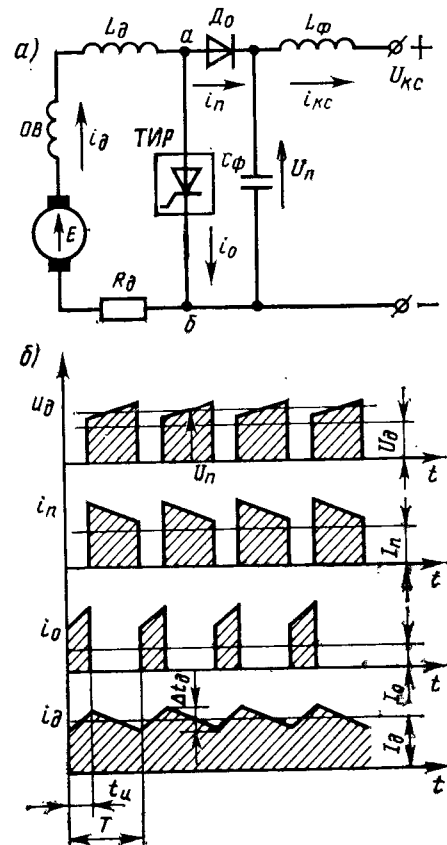


Рис. 94. Схема включения ТИР при рекуперативном торможении (а) и осциллограммы (б)

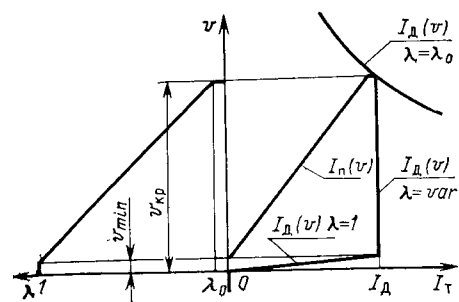


Рис. 95. Зависимости $I_n(v)$, $I_d(v)$ и $\lambda(v)$ при рекуперативном торможении

а энергия, вырабатываемая на внешних зажимах генератора, равна $U_{аб} I_d t_T$ или $U_d I_d t_T$.

На основании закона сохранения энергии можно записать, что

$$U_d I_d t_T \eta_p = U_{п} I_{п} t_T,$$

откуда получим

$$I_{п} = \frac{U_d}{U_{п}} I_d \eta_p,$$

где I_d , U_d — средний ток и напряжение двигателя;

$I_{п}$ — среднее значение тока источника питания;

η_p — к. п. д. тиристорного регулятора.

Заменив U_d согласно формуле (65), получим

$$I_{п} = (1 - \lambda) I_d \eta_p. \quad (72)$$

Таким образом, в диапазоне изменения скорости движения $v_{кр} \leq v \leq v_{min}$ ток, отдаваемый в контактную сеть, меняется в диапазоне $(1 - \lambda_0) I_d \eta_p \leq I_{п} \leq 0$ (рис. 95).

Характер изменения среднего тока рекуперации $I_{п}$ от скорости подвижного состава можно определить из совместного решения уравнений (67) и (72)

$$I_{п} = \frac{I_d}{U_{п}} \eta_p (c\Phi v - I_d R_d). \quad (73)$$

Согласно уравнению (73) зависимость $I_{п}(v)$ является линейной и ток рекуперации $I_{п}$ пропорционален скорости подвижного состава v . В процессе рекуперативного торможения среднее значение тока в тяговом двигателе I_d поддерживается постоянным, равным току уставки, задаваемой водителем.

Реостатное торможение. Принципиальная схема реостатного торможения при тиристорно-импульсном управлении приведена на рис. 96, а. Здесь, как и при рекуперативном торможении, при замыкании тиристорного ключа ТИР ток двигателя нарастает, замыкаясь по цепи $E - L_d - \text{ТИР} - R_d - \text{ОВ} - E$ и накапливая энергию в ее индуктивности. После размыкания ТИР (режим паузы) ток двигателя замыкается через тормозной резистор R_T по цепи $E - L_d - R_T - R_d - \text{ОВ} - E$ (рис. 96, б).

Для режимов импульса и паузы соответственно получим:

$$E = L_d \frac{\Delta I_d}{t_{и}} + I_d R_d \text{ при } 0 \leq t \leq t_{и}; \quad (74)$$

$$E = -L_d \frac{\Delta I_d}{T - t_{и}} + I_d (R_d + R_T) \text{ при } t_{и} \leq t \leq T. \quad (75)$$

Из совместного решения уравнений (74) и (75) с учетом того что $\lambda = t_{и}/T$ и $T = 1/f$, получим

$$\Delta I_d = \frac{I_d R_T \lambda (1 - \lambda)}{L_d f}. \quad (76)$$

Таким образом, при реостатном торможении пульсация тока в тяговом двигателе ΔI_d пропорциональна среднему значению тока в двигателе I_d и сопротивлению тормозного резистора R_T , обратно пропорциональна суммарной индуктивности цепи двигателя L_d и частоте регулирования тиристорного преобразователя f , а также нелинейно зависит от коэффициента заполнения тиристорного регулятора λ .

Максимальные пульсации тока будут при $\lambda_m = 0,5$, т. е.

$$\Delta I_{dm} = \frac{I_d R_T}{4 L_d f}. \quad (77)$$

Для реостатного торможения обычно $R_T \gg R_d$, поэтому после размыкания ТИР (в период паузы) ток двигателя всегда уменьшается. Это обуславливает электрическую устойчивость реостатного торможения.

При реостатном торможении э.д.с. вращения двигателя E уравновешивается падением напряжения на суммарном сопротивлении цепи двигателя R_d и средним напряжением на тиристорном регуляторе $U_{аб}$. Среднее напряжение на тиристорном регуляторе может быть определено как среднее значение напряжения на тормозном резисторе, которое с учетом ранее принятых допущений равно нулю при включенном ТИР и напряжению $I_d R_T$ при выключенном ТИР. Поэтому среднее напряжение на резисторе R_T за период регулирования T

$$U_{R_T} = I_d R_T \frac{T - t_{и}}{T} = I_d R_T (1 - \lambda). \quad (78)$$

Следовательно,

$$E = I_d [R_d + R_T (1 - \lambda)]. \quad (79)$$

С учетом, что $E = c\Phi v$, получим

$$v = \frac{I_d [R_d + R_T (1 - \lambda)]}{c\Phi}. \quad (80)$$

Из выражения (80) следует, что при постоянном значении R_T для обеспечения заданного тормозного тока I_d и потока $c\Phi$ каждому значению скорости подвижного состава должно соответствовать определенное значение коэффициента заполнения тиристорного регулятора λ . При этом минимальному значению $\lambda = \lambda_0$ соответствует максимальное значение тормозной скорости $v_{кр}$ при выбранном значении R_T и заданных значениях I_d и $c\Phi$.

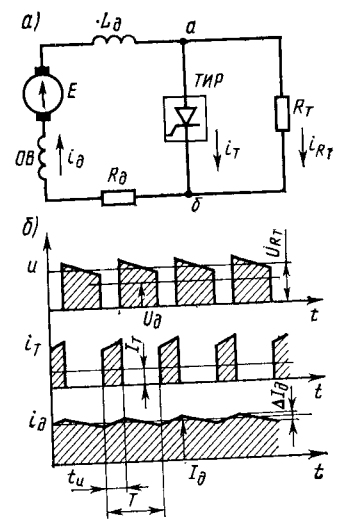


Рис. 96. Схема включения ТИР при реостатном торможении (а) и осциллограммы (б)

Таким образом при реостатном торможении для обеспечения постоянного среднего значения тормозного тока в двигателе I_d с уменьшением скорости подвижного состава v необходимо увеличивать коэффициент заполнения тиристорного регулятора λ .

Заданное значение тормозного тока поддерживается тиристорным регулятором вплоть до скорости $v_{\min}$, при которой $\lambda=1$ и э.д.с. вращения двигателя уравнивается падением напряжения на активном сопротивлении цепи двигателя R_d . Скорость $v_{\min}$ определяется из формулы (80)

$$v_{\min} = \frac{I_d R_d}{c\Phi}.$$

Это выражение совпадает с уравнением (71).

43. ТИРИСТОРНО-ИМПУЛЬСНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

При управлении тяговыми двигателями на подвижном составе возникает необходимость регулировать возбуждение тягового двигателя, как правило, в трех случаях:

в начальной стадии пуска для получения более плавного нарастания силы тяги. Для этого в момент подключения двигателей к источнику питания осуществляют максимальное или частичное ослабление возбуждения с последующим его усилением до полного возбуждения;

в заключительной стадии пуска для увеличения скорости движения подвижного состава. С этой целью после достижения полного напряжения на двигателях постепенно ослабляют магнитное поле (уменьшают ток возбуждения) до предельного или промежуточного значения коэффициента регулирования возбуждения $\alpha = I_B / I_A$;

в начальной стадии электрического торможения (как рекуперативного, так и реостатного) с целью ограничения напряжения на двигателях при высоких скоростях движения, а также для более плавного нарастания тормозной силы. Для этого вначале торможение осуществляется при ослабленном возбуждении с последующим постепенным усилением его до полного ($\alpha=1$).

Все указанные режимы регулирования возбуждения двигателей могут с успехом осуществляться при тиристорно-импульсном управлении.

Рассмотрим наиболее общий способ регулирования тока возбуждения тягового двигателя с помощью тиристорного регулятора, включенного параллельно обмотке возбуждения двигателя (рис. 97, а, б). На рис. 97, а цепь якоря тягового двигателя, состоящая из э. д. с. вращения E , суммарной индуктивности $L'_{дв}$ и суммарного сопротивления R'_d подключена к источнику питания U_n последовательно с обмоткой возбуждения, индуктивность и сопротивление которой обозначены соответственно L_B и R_B . Обмотка возбуждения

шунтирована резистором $R_{ш}$, ограничивающим перенапряжения на обмотке в процессе работы тиристорного регулятора ТИР. Сопротивление резистора $R_{ш}$ обычно много больше сопротивления обмотки возбуждения R_B и может выбираться в пределах $(20 \div 40) R_B$. При этом следует иметь в виду, что малое сопротивление $R_{ш}$ приводит к уменьшению максимального значения коэффициента регулирования возбуждения $\alpha_{\max}$:

$$\alpha_1 = \alpha_{\max} = \frac{R_{ш}}{R_B + R_{ш}}. \quad (81)$$

Увеличение $R_{ш}$ ограничено максимальными перенапряжениями на обмотке возбуждения во время работы регулятора. Эти перенапряжения зависят от тока в тяговом двигателе, схемы тиристорного регулятора и приближенно оцениваются как

$$U_B = K_B (1 - \alpha_{\min}) I_{A \max} R_{ш}, \quad (82)$$

где $I_{A \max}$ — наибольшее среднее значение тока якоря;

K_B — коэффициент запаса, зависящий от пульсаций тока в якоре и обмотке возбуждения тягового электродвигателя; $K_B = 1,05 \div 1,15$;

$\alpha_2 = \alpha_{\min}$ — минимальное значение коэффициента регулирования возбуждения тягового двигателя, которое зависит от сопротивления ограничивающего резистора,

$$\alpha_2 = \alpha_{\min} = \frac{R_0 R_{ш}}{R_0 R_{ш} + R_0 R_B + R_{ш} R_B}. \quad (83)$$

Перенапряжение U_B должно быть не выше номинального напряжения двигателя во избежание нарушения изоляции обмотки возбуждения. Величины L'_d и R'_d отличаются от ранее введенных L_d и R_d соответственно на L_B и R_B , т. е. $L'_d = L_d - L_B$; $R'_d = R_d - R_B$.

Полагая $L_B / R_B \gg T$, что справедливо при частоте работы тиристорного регулятора $f > 100 - 200$ Гц, и ток якоря постоянным и равным среднему значению I_A , запишем уравнения для электрической схемы рис. 97, а при замкнутом и разомкнутом ТИР

$$I_B R_B - L_B \frac{\Delta I_B}{t_n} = (I_A - I_B) R_0 \text{ при } 0 \leq t \leq t_n; \quad (84)$$

$$I_B R_B + L_B \frac{\Delta I_B}{T - t_n} = (I_A - I_B) R_{ш} \text{ при } t_n < t < T, \quad (85)$$

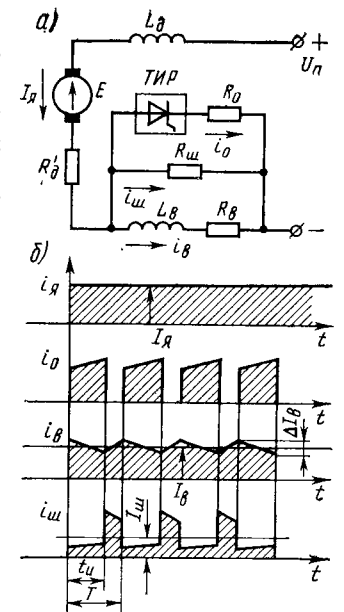


Рис. 97. Схема включения ТИР при регулировании возбуждения тягового двигателя (а) и осциллограммы (б)

где $I_{\text{я}}$, $I_{\text{в}}$ — средние за период регулирования T токи обмоток якоря и возбуждения тягового двигателя;
 $R_{\text{э}}$ — эквивалентное сопротивление; $R_{\text{э}} = R_0 R_{\text{ш}} / (R_0 + R_{\text{ш}})$.
 В результате преобразований получим:

$$I_{\text{в}} R_{\text{в}} t_{\text{п}} - L_{\text{в}} \Delta I_{\text{в}} = (I_{\text{я}} - I_{\text{в}}) R_{\text{э}} t_{\text{п}}; \quad (86)$$

$$I_{\text{в}} R_{\text{в}} (T - t_{\text{п}}) + L_{\text{в}} \Delta I_{\text{в}} = (I_{\text{я}} - I_{\text{в}}) R_{\text{ш}} (T - t_{\text{п}}). \quad (87)$$

Сложив уравнения (86) и (87) с учетом, что $\lambda_{\text{п}} = t_{\text{п}}/T$ и $f = 1/T$, после преобразований будем иметь

$$I_{\text{в}} = I_{\text{я}} \frac{R_{\text{э}} \lambda_{\text{п}} + R_{\text{ш}} (1 - \lambda_{\text{п}})}{R_{\text{в}} + R_{\text{э}} \lambda_{\text{п}} + R_{\text{ш}} (1 - \lambda_{\text{п}})} \quad (88)$$

или с учетом $R_{\text{э}} = R_0 R_{\text{ш}} / (R_0 + R_{\text{ш}})$ получим

$$I_{\text{в}} = \frac{I_{\text{я}}}{1 + \frac{R_{\text{в}}/R_{\text{ш}}}{1 - R_{\text{ш}} \lambda_{\text{п}}/(R_0 + R_{\text{ш}})}}. \quad (89)$$

Тогда
$$\alpha = I_{\text{в}}/I_{\text{я}} = \frac{1}{1 + \frac{R_{\text{в}}/R_{\text{ш}}}{1 - R_{\text{ш}} \lambda_{\text{п}}/(R_0 + R_{\text{ш}})}}. \quad (90)$$

Из совместного решения уравнений (81) и (83) можно выразить $R_{\text{ш}}$ и R_0 через обычно задаваемые значения $\alpha_1 = \alpha_{\text{max}}$ и $\alpha_2 = \alpha_{\text{min}}$:

$$R_{\text{ш}} = R_{\text{в}} \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_1}; \quad (91)$$

$$R_0 = R_{\text{в}} \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2}. \quad (92)$$

Подставив значения $R_{\text{ш}}$ и R_0 из формул (91) и (92) в уравнение (90), после преобразований получим

$$\alpha = \frac{\alpha_1 (1 - \alpha_2) - \lambda_{\text{п}} (\alpha_1 - \alpha_2)}{1 - \alpha_2 - \lambda_{\text{п}} (\alpha_1 - \alpha_2)}. \quad (93)$$

Таким образом, коэффициент регулирования возбуждения тягового двигателя α нелинейно зависит от коэффициента заполнения тиристорного регулятора возбуждения $\lambda_{\text{п}}$ и крайних значений коэффициента регулирования возбуждения α_{min} и α_{max} .

На рис. 98 приведены зависимости $\alpha(\lambda_{\text{п}})$ для различных значений α_{min} и α_{max} . Отметим, что на степень нелинейности характеристики $\alpha(\lambda_{\text{п}})$ коэффициент α_{max} оказывает большее влияние, чем α_{min} . Последнее справедливо для двигателей, применяемых на городском электрическом транспорте.

Для определения пульсаций тока в обмотке возбуждения $\Delta I_{\text{в}}$ в зависимости от коэффициента заполнения регулятора возбуждения $\lambda_{\text{п}}$ вычтем из уравнения (85) уравнение (84), тогда получим

$$\Delta I_{\text{в}} = \frac{(I_{\text{я}} - I_{\text{в}}) (R_{\text{ш}} - R_{\text{э}})}{L_{\text{в}}} \frac{t_{\text{п}} (T - t_{\text{п}})}{T}. \quad (94)$$

$$\text{с учетом } R_{\text{э}} = \frac{R_0 R_{\text{ш}}}{R_0 + R_{\text{ш}}};$$

$$\lambda_{\text{п}} = \frac{t_{\text{п}}}{T} \text{ и } f = \frac{1}{T} \text{ имеем}$$

$$\Delta I_{\text{в}} = \frac{I_{\text{я}} - I_{\text{в}}}{L_{\text{в}} f} \frac{R_{\text{ш}}^2}{R_0 + R_{\text{ш}}} \lambda_{\text{п}} (1 - \lambda_{\text{п}}). \quad (95)$$

Подставим в уравнение (95) значение тока $I_{\text{в}}$ из уравнения (89)

$$\Delta I_{\text{в}} = \frac{I_{\text{я}}}{f L_{\text{в}}} \times \frac{R_{\text{в}} R_{\text{ш}} \lambda_{\text{п}} (1 - \lambda_{\text{п}})}{R_0 + \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{ш}}} (R_0 + R_{\text{ш}}) + R_{\text{ш}} (1 - \lambda_{\text{п}})}. \quad (96)$$

Если в уравнении (96) заменить значения $R_{\text{ш}}$, R_0 через $\alpha_1 = \alpha_{\text{max}}$ и $\alpha_2 = \alpha_{\text{min}}$ в соответствии с выражениями (81), (83), то после преобразований будем иметь

$$\Delta I_{\text{в}} = \frac{I_{\text{я}} R_{\text{в}}}{f L_{\text{в}}} \frac{\lambda_{\text{п}} (1 - \lambda_{\text{п}})}{(1 - \alpha_2)/(\alpha_1 - \alpha_2) - \lambda_{\text{п}}}. \quad (97)$$

Таким образом, пульсации тока в обмотке возбуждения $\Delta I_{\text{в}}$ нелинейно зависят от коэффициента заполнения тиристорного регулятора возбуждения $\lambda_{\text{п}}$.

На рис. 99 показана зависимость пульсаций тока возбуждения $\Delta I_{\text{в}}$ от коэффициента заполнения тиристорного регулятора возбуждения $\lambda_{\text{п}}$. Максимальное значение пульсации тока $\Delta I_{\text{вм}}$ достигают при коэффициенте заполнения тиристорного регулятора

$$\lambda_{\text{пт}} = \frac{1 - \alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2} \left(1 - \sqrt{\frac{1 - \alpha_1}{1 - \alpha_2}} \right). \quad (98)$$

Подставим (98) в уравнение (97), тогда после преобразований получим

$$\Delta I_{\text{вм}} = \frac{I_{\text{я}} R_{\text{в}}}{f L_{\text{в}}} \frac{1 - \alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2} \left(1 - \sqrt{\frac{1 - \alpha_1}{1 - \alpha_2}} \right)^2. \quad (99)$$

Таким образом, максимальная пульсация тока в обмотке возбуждения имеет место при определенном значении $\lambda_{\text{пт}}$, которое зависит только от α_{min} и α_{max} . Значение пульсации тока $\Delta I_{\text{вм}}$, кроме α_{max} и α_{min} , зависит от параметров схемы ($L_{\text{в}}$, $R_{\text{в}}$), тока якоря $I_{\text{я}}$ и частоты работы ТИР — f .

Подобные характеристики $\alpha(\lambda_{\text{п}})$, $\Delta I_{\text{в}}(\lambda_{\text{п}})$ можно получить и при ином построении схемы регулирования. Например, так называемый объединенный тиристорный регулятор (рис. 100) может осуществлять одновременно регулирование напряжения и возбуж-

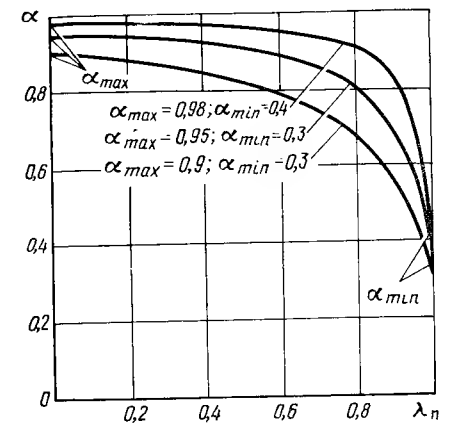


Рис. 98. Зависимость $\alpha(\lambda_{\text{п}})$ при пуске

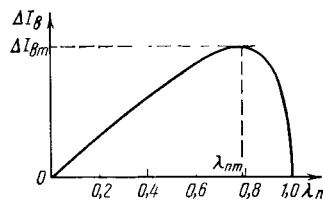


Рис. 99. Зависимость пульсаций тока возбуждения ΔI_θ от коэффициента заполнения ТИР λ_π

сенной электромагнитной энергии в индуктивности L'_d продолжает протекать в том же направлении, замыкаясь через диод Д1. Причем ток якоря, проходя через узел обмотки возбуждения, разветвляется здесь на два тока: i_b и i_π .

Таким образом, как и в схеме рис. 97, а, при $0 \leq t \leq t_\pi$ обмотка возбуждения шунтируется резисторами R_0 и R_π , а при $t_\pi \leq t \leq T$ обмотка возбуждения шунтируется только резистором R_π , так как через R_0 в этом случае ток запирается диодом Д2. Это означает, что средний ток в обмотке возбуждения I_b будет зависеть от коэффициента заполнения тиристорного регулятора λ . При увеличении λ средний ток возбуждения уменьшается. Причем нетрудно убедиться, что ранее полученные выражения (81) — (99) справедливы и для схемы рис. 100.

Таким образом, схема рис. 100 может использоваться для регулирования скорости тягового двигателя в режиме тяги. Причем так как зависимость $I_b(\lambda)$ резко нелинейная, то большую часть диапазона изменения λ возбуждение тягового двигателя меняется незначительно (см. рис. 98) и только при λ , близких к единице, начинает существенно изменяться степень

ослабления возбуждения α . Это приводит к тому, что объединенный регулятор вначале регулирует в основном напряжение на тяговом двигателе и только в конце при $\lambda = (0,8 \div 1,0)$ начинает эффективно ослаблять возбуждение ТД.

Такой закон регулирования можно использовать при пуске, когда требуется снижать возбуждение только после подведения к двигателю полного напряжения.

Недостатком такого способа регулирования является некоторая потеря силы тяги при пуске. Причем эти потери тем меньше, чем больше нелинейность характеристики $\alpha(\lambda)$. Однако чем больше нелинейность характеристики $\alpha(\lambda)$, тем сложнее обеспечить устойчивость замкнутой системы регулирования.

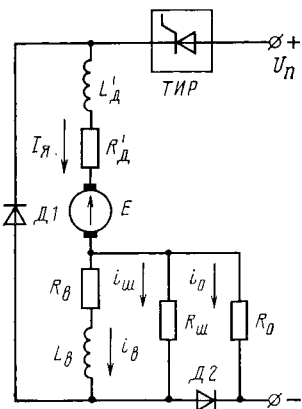


Рис. 100. Схема включения общего ТИР для ослабления возбуждения тягового двигателя при пуске

При электрическом торможении для получения более эффективного тормоза при соблюдении ограничений по коммутации тягового двигателя необходимо начинать торможение с максимально ослабленного возбуждения (на высоких скоростях) с плавным усилением возбуждения до полного ($\alpha=1$), а затем переходить к регулированию напряжения на двигателе. Следовательно, при малых значениях λ нужно иметь ослабленное возбуждение, а с увеличением λ возбуждение двигателя должно усиливаться.

Эту задачу могут решать как два функционально отдельных тиристорных регулятора, так и один объединенный.

Рассмотрим принципиальную схему объединенного способа регулирования напряжения и возбуждения двигателя при торможении (рис. 101). При включении ТИР ток якоря I_π протекает через ТИР и обмотку возбуждения, шунтированную резистором R_π . После выключения ТИР в режиме паузы ток I_π вследствие запасенной электромагнитной энергии и э.д.с. вращения протекает в том же направлении, но разветвляется на три тока: i_π , i_b и i_0 и замыкается через источник питания U_π (при рекуперативном торможении) или резистор R_T (при реостатном торможении). Следовательно, ток возбуждения во время импульса ($0 \leq t \leq t_\pi$) будет больше, чем во время паузы ($t_\pi \leq t \leq T$) и, значит, I_b будет зависеть от значения λ . Причем, чем больше λ , тем больше I_b , т. е. закон изменения I_b (или α) будет обратным по сравнению с ранее рассмотренным в схемах рис. 97 и 100.

Из приведенных на рис. 102 и 103 кривых $\alpha^0(\lambda)$ и $\Delta I_b^0(\lambda)$ видно, что они представляют собой зеркальное отображение соответствующих кривых рис. 98, 99 (при равенстве значений идентичных параметров принципиальных схем). Индекс «0» показывает, что данный параметр относится к схеме с обратным характером зависимости от коэффициента заполнения λ .

Объединенный регулятор напряжения и возбуждения двигателя с обратной зависимостью $\alpha^0(\lambda)$ иногда применяют и при пуске с целью более плавного нарастания тягового усилия в начальной стадии пуска.

В принципиальной схеме включения такого регулятора (рис. 104), как и в схеме рис. 101, в режиме импульса (ТИР включен) ток якоря I_π разветвляется на два тока: i_π и i_b , а в режиме паузы (ТИР выключен) — на три тока: i_π , i_b и i_0 . Поэтому среднее значение

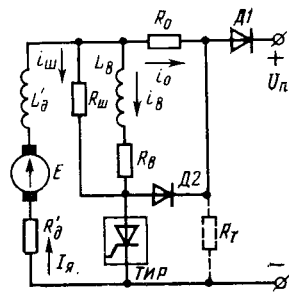


Рис. 101. Схема включения общего ТИР для усиления возбуждения тягового двигателя при торможении

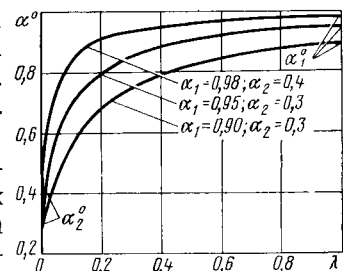


Рис. 102. Зависимость $\alpha(\lambda)$ при общем ТИР

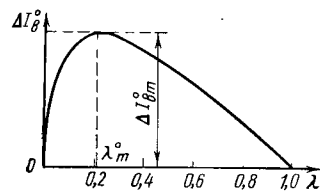
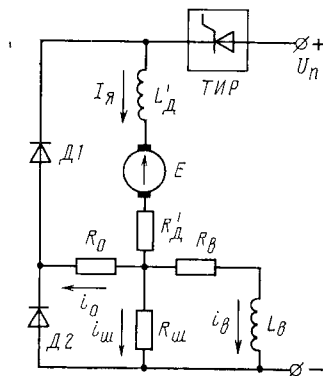


Рис. 103. Зависимость пульсаций тока возбуждения от коэффициента заполнения общего ТИР

Рис. 104. Схема включения общего ТИР для усиления возбуждения тягового двигателя при пуске



тока I_θ зависит от коэффициента заполнения тиристорного регулятора λ . Причем, чем больше λ , тем больше коэффициент регулирования возбуждения двигателя α^0 .

В схеме рис. 104 все закономерности поведения тока возбуждения и его пульсаций аналогичны выше рассмотренным в схеме рис. 101. Поэтому регулировочные характеристики $\alpha^0(\lambda)$ и зависимость пульсаций тока возбуждения ΔI_θ^0 , приведенные на рис. 102, 103, можно отнести и к схеме рис. 104.

44. СГЛАЖИВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА В СИСТЕМАХ С ТИРИСТОРНО-ИМПУЛЬСНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Характерной особенностью тиристорно-импульсных систем является периодическое скачкообразное изменение тех или иных параметров схемы или ее структуры. Это приводит к появлению периодических переменных составляющих тока и напряжения на различных участках электрических цепей. Эти переменные составляющие тока и напряжения являются нежелательными и даже опасными с точки зрения сохранности электрооборудования. Поэтому для их сглаживания, т. е. уменьшения амплитуды переменной составляющей, применяют сглаживающие устройства. Наиболее экономичными являются реактивные сглаживающие устройства, так как потери электроэнергии в них невелики.

На подвижном составе городского электрического транспорта различают входные и выходные сглаживающие устройства. Входные сглаживающие устройства предназначены для ограничения пульсаций тока и напряжения в контактной сети, а также напряжений на тиристорном прерывателе. Выходные сглаживающие устройства предназначены для снижения пульсаций тока и напряжения в нагрузке, т. е. в тяговых двигателях.

Входные сглаживающие устройства. При тиристорно-импульсном управлении двигателей на входе системы регулирования устанавливают Г-образный входной фильтр, состоящий из катушки индуктивности L_ϕ , включаемой последовательно, и конденсатора C_ϕ , подключаемого параллельно системе регулирования.

Необходимость сглаживания пульсаций тока в контактной сети городского электрического транспорта в основном обусловлена ограничениями на амплитуду переменной составляющей в диапазоне радиочастот от 160 кГц до 150 мГц во избежание мешающего влияния на теле- и радиосвязь. На подвижном составе троллейбуса пульсации тока и напряжения необходимо ограничивать еще и по соображениям безопасности, так как суммарный эффективный ток утечки при появлении значительной переменной составляющей увеличивается. Наконец, значительные пульсации тока и напряжения вызывают дополнительные непроизводительные потери энергии в электрических цепях, а также повышают вероятность нарушения прочности изоляции электрооборудования и приводов.

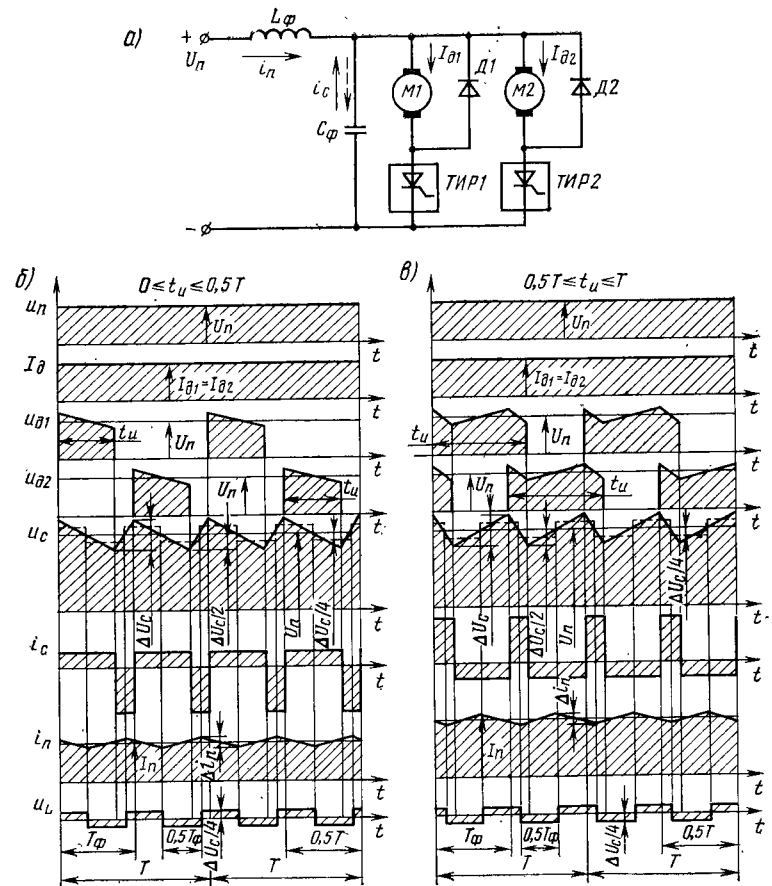


Рис. 105. Принципиальная схема двухфазной тиристорной системы регулирования (а) и осциллограммы (б, в)

Поэтому при разработке тиристорно-импульсных систем управления стараются снизить пульсации тока и напряжения. С этой целью стремятся к повышению частоты регулирования. Весьма эффективно для этих целей использование многофазных систем, в которых два или несколько тиристорных регуляторов работают параллельно, но со сдвигом на $360^\circ/m$. Здесь m — число параллельно работающих регуляторов. В качестве примера на рис. 105, а приведена принципиальная схема построения многофазных тиристорно-импульсных регуляторов с $m=2$. На рис. 105, б и в поясняется принцип действия такой системы регулирования.

В каждом ТИР коэффициент заполнения λ меняется от 0 до 1. Поэтому в связи с тем что моменты включения и выключения ТИР1 сдвинуты на 180° по отношению к аналогичным режимам в ТИР2, то при изменении в каждом регуляторе коэффициента заполнения λ от 0 до 0,5 на входной фильтр эти регуляторы воздействуют поочередно. Следовательно, рабочая частота T_Φ входного фильтра будет в 2 раза выше, чем частота регулирования T каждого ТИР. Аналогично при $0,5 \leq \lambda \leq 1,0$ ток входного фильтра пульсирует с двойной частотой, но в нем появляется постоянная составляющая, равная току нагрузки одной фазы.

Для m -фазной системы, работающей со сдвигом на $360^\circ/m$, рабочая частота входного фильтра f_Φ будет в m раз больше частоты регулирования f каждой фазы, т. е.

$$f_\Phi = mf. \quad (100)$$

Качество фильтра обычно характеризуется пульсациями напряжения на конденсаторе C_Φ и тока в катушке индуктивности L_Φ . Для определения указанных пульсаций рассмотрим работу входного фильтра в пределах одного периода рабочей частоты фильтра $T_\Phi = 1/f_\Phi$. При этом сделаем следующие допущения: токи в нагрузках каждой фазы равны и имеют весьма малые пульсации, т. е. могут считаться постоянными $I_{д1} = I_{д2} = I_\Phi$; напряжение источника питания U_Π постоянно; время коммутации тиристорного регулятора пренебрежимо мало.

В период паузы, когда оба ТИР выключены и токи нагрузки замыкаются соответственно через диоды Д1 и Д2, ток источника питания i_Π протекает через L_Φ и C_Φ , обеспечивая заряд конденсатора C_Φ . Этот режим характеризуется тем, что ток источника питания i_Π равен току заряда конденсатора фильтра i_C .

Ввиду того что в реальных системах регулирования пульсации тока в контактной сети и напряжения на конденсаторе C_Φ сравнительно невелики (10—20%), можно с небольшой для практических целей погрешностью заменить синусоидальный характер изменения токов и напряжений входного фильтра линейными функциями так, как это представлено на рис. 105. Здесь напряжение на конденсаторе C_Φ изображено в виде линейно убывающей функции U_c на интервале t_Π , когда включен один из ТИР. На участке $T_\Phi - t_\Pi$, когда оба ТИР выключены, напряжение U_c линейно возрастает. Разность между максимальным и минимальным значениями U_c

обозначена через ΔU_c и характеризует собой удвоенную амплитуду переменной составляющей (размах пульсаций) напряжения на конденсаторе фильтра. Для принятых допущений линейному характеру изменения напряжения на конденсаторе соответствует ток i_C конденсатора, изображенный на рис. 105, б постоянным на участке, где напряжение U_c меняется с постоянной производной (скоростью изменения). Причем при нарастании напряжения U_c ток i_C протекает в одном направлении, а при спадении — в другом. Значение этого тока зависит от скорости спадения (нарастания) напряжения U_c .

Для интервала времени $t_\Pi \leq t \leq T_\Phi$, соответствующего режиму выключенного состояния обоих ТИР, и среднего значения тока через конденсатор можно записать

$$I_c = C_\Phi \frac{\Delta U_c}{T_\Phi - t_\Pi}.$$

Так как в этот промежуток времени ток источника питания протекает через конденсатор C_Φ , т. е. $I_c = I_\Pi$, получим

$$I_\Pi = C_\Phi \frac{\Delta U_c}{T_\Phi - t_\Pi},$$

откуда имеем

$$\Delta U_c = I_\Pi \frac{T_\Phi - t_\Pi}{C_\Phi}.$$

Или с учетом того, что $T_\Phi = T/m$; $T = 1/f$ и $\lambda = t_\Pi/T$, можно записать

$$\Delta U_c = I_\Pi \frac{1 - m\lambda}{f C_\Phi m}. \quad (101)$$

Согласно выражению (60) для среднего значения тока I_Π при однофазной нагрузке, приняв $\eta_p \approx 1$, имеем $I_\Pi = \lambda I_\Delta$.

При многофазной нагрузке средний ток, потребляемый от источника питания, увеличивается в m раз. Следовательно,

$$I_\Pi = \lambda m I_\Delta. \quad (102)$$

Тогда, подставив выражение (102) в формулу (101) получим

$$\Delta U_c = I_\Delta \frac{\lambda (1 - m\lambda)}{f C_\Phi m}. \quad (103)$$

Для определения пульсаций тока Δi_Π входного фильтра запишем соотношение между средним напряжением U_i на катушке индуктивности L_Φ и изменением тока в ней

$$U_L = L_\Phi \frac{\Delta i_\Pi}{\Delta t}. \quad (104)$$

На участке нарастания тока i_Π среднее напряжение U_L уравнивается переменной составляющей напряжения на конденсаторе

ре C_Φ . Среднее значение этой составляющей, как показано на рис. 105, б, равно $\Delta U_c/4$. Интервал времени Δt , в течение которого нарастает ток i_Π , равен половине периода T_Φ работы фильтра, т. е. $\Delta t = 0,5 T_\Phi$ или $\Delta t = 0,5 T/m = 0,5/(fm)$. Поэтому можно записать:

$$\frac{\Delta U_c}{4} = L_\Phi \frac{\Delta i_\Pi m f}{0,5} \quad \text{или} \quad (105)$$

$$\Delta i_\Pi = \Delta U_c / 8 L_\Phi m f.$$

Подставив значение ΔU_c из формулы (103) в выражение (105), получим

$$\Delta i_\Pi = I_d \frac{\lambda(1-\lambda m)}{8 L_\Phi C_\Phi m f^2}. \quad (106)$$

При пуске подвижного состава в процессе регулирования напряжения на тяговом двигателе время включенного состояния t_Π каждого работающего со сдвигом на 180° тиристорного регулятора увеличивается. Когда это время становится больше половины периода регулирования T , т. е. $t_\Pi > 0,5 T = T_\Phi$, режим работы входного фильтра меняется. Теперь в его работе можно выделить два характерных режима: первый — когда включены оба ТИР и второй — когда включен только один из них. Теперь режим, когда выключены оба ТИР, отсутствует, так как регуляторы включаются с перекрытием (см. рис. 105, в).

В первом режиме конденсатор C_Φ разряжается на нагрузку и напряжение на нем с учетом ранее принятых допущений уменьшается по линейному закону.

Изображенные на рис. 105, в кривые токов и напряжений во входном фильтре подчиняются ранее полученным соотношениям (101) — (106).

Таким образом, в многофазных системах регулирования напряжения на тяговых двигателях пульсации тока Δi_Π источника питания и напряжения ΔU_c на конденсаторе фильтра зависят от тока нагрузки I_d каждой фазы, параметров входного фильтра $L_\Phi C_\Phi$, числа фаз m , рабочей частоты f и коэффициента заполнения λ тиристорных регуляторов.

Величины Δi_Π и ΔU_c достигают максимальных значений при $\lambda_m = 1/2m$.

Подставив это значение λ_m в уравнения (103) и (106), получим:

$$\Delta U_{c \max} = \frac{I_d}{4 C_\Phi f m}; \quad (107)$$

$$\Delta i_{\Pi \max} = \frac{I_d}{32 L_\Phi C_\Phi f^2 m^2}. \quad (108)$$

Рис. 106. Зависимости пульсаций тока и напряжения входного фильтра от коэффициента заполнения ТИР в m -фазных системах

Следует отметить, что при изменении λ от 0 до 1 в многофазной системе регулирования пульсации тока и напряжения входного фильтра $m+1$ раз проходят через нуль, когда коэффициент заполнения тиристорного регулятора каждой фазы принимает значения $\lambda = n/m$, где $n = 0; 1; 2; \dots; m$. Максимальные значения пульсаций тока и напряжения входного фильтра имеют место m раз при $\lambda = (2k-1)/2m$, где $k = 1; 2; \dots; m$. Согласно вышесказанному в рассмотренной схеме рис. 105, где $m=2$, пульсации тока и напряжения входного фильтра будут равны нулю при $\lambda = n/m$, т. е. $\lambda = 0; 0,5; 1$, а максимальные значения пульсации будут иметь при $\lambda = (2k-1)/2m$, т. е. $\lambda = 0,25; 0,75$ (рис. 106).

При проектировании тиристорно-импульсных систем управления для подвижного состава задача выбора входного фильтра обычно сводится к выбору конденсатора фильтра; индуктивность входного фильтра обеспечивается входным реактором помехоподавления.

Выходные сглаживающие устройства. В схемах тиристорно-импульсного регулирования к выходным сглаживающим устройствам обычно относят те элементы схемы, которые способствуют уменьшению пульсаций тока в нагрузке. Эти элементы можно подразделить на линейные и нелинейные. К линейным относятся реактивные элементы (L, C) и активные (R); к нелинейным — полупроводниковые диоды (или тиристоры), а также катушки с нелинейными индуктивностями.

Как правило, выходные сглаживающие устройства состоят из сочетания указанных элементов, например, из катушки индуктивности и резистора, катушки индуктивности и диода, конденсатора с катушкой индуктивности и диодом и т. д. Рассмотрим примеры включения линейных и нелинейных выходных сглаживающих устройств (СУ) (рис. 107). Одно из сглаживающих устройств состоит из катушки индуктивности L и диода D (рис. 107, а). Оно обеспечивает эффективное сглаживание почти без потерь электроэнергии в сглаживающем устройстве при относительно небольшой

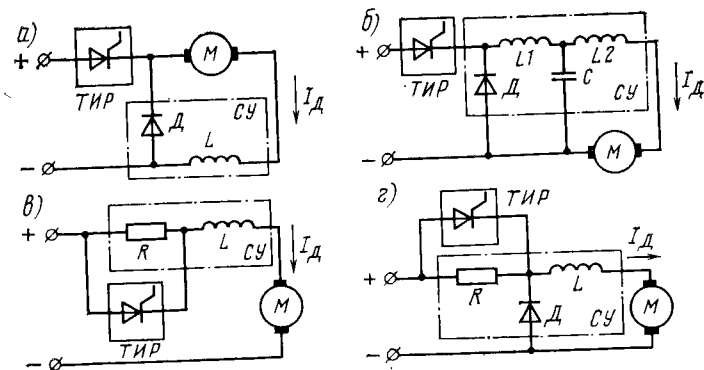


Рис. 107. Схемы включения выходных сглаживающих устройств

стоимости оборудования. Другое сглаживающее устройство (рис. 107, б) позволяет также без потерь обеспечить эффективное сглаживание тока нагрузки, однако размеры и стоимость его по сравнению со сглаживающим устройством рис. 107, а больше.

Сглаживающие устройства, показанные на рис. 107, в и 107, г, обеспечивают сглаживание тока нагрузки при существенном расходе электроэнергии из-за использования резистора R , что является значительным их недостатком. На подвижном составе наиболее распространено сглаживающее устройство, представленное на рис. 107, а.

Как указывалось выше, сглаживающая индуктивность L при заданных значениях питающего напряжения U_n и частоты регулирования f определяет пульсации тока в тяговом двигателе. Следует отметить, что индуктивность самого тягового двигателя является также сглаживающим элементом. Правда, при высоких частотах регулирования ($f > 200$ Гц), индуктивность обмотки возбуждения значительно снижается из-за вихревых токов. Тем не менее, суммарная индуктивность двигателя, включающая в себя индуктивности катушек якоря, главных и дополнительных полюсов, составляет несколько миллигенри. Таким образом дополнительную сглаживающую индуктивность можно определить согласно формуле (56)

$$L = \frac{U_n}{4f\Delta I_{дм}} - L_d. \quad (109)$$

С целью уменьшения пульсаций тока в тяговом двигателе иногда целесообразно применять многофазные схемы тиристорных регуляторов. На рис. 108, а представлена принципиальная схема двухфазного тиристорного регулятора с общей нагрузкой. Моменты включения и выключения тиристорных регуляторов $TIP1$ и $TIP2$ сдвинуты на половину периода регулирования $0,5T$. Работу поочередного включения и выключения тиристорных регуляторов поясняет диаграмма рис. 108, б. При включении $TIP1$ напряжение питания U_n прикладывается к нагрузке первой фазы, состоящей из катушки индуктивности $L1$ и двигателя.

Нагрузка первой фазы зашунтирована своим нулевым диодом $D1$. В этот период времени ток в нагрузке первой фазы нарастает. После выключения $TIP1$ ток нагрузки первой фазы спадает, замыкаясь через диод $D1$. Аналогично после включения $TIP2$ нарастает ток нагрузки второй фазы. Нагрузкой второй фазы являются катушка индуктивности $L2$ и двигатель. После выключения $TIP2$ ток нагрузки второй фазы уменьшается. Далее процессы повторяются.

Таким образом за период регулирования T ток в тяговом двигателе дважды нарастал и спадал, в то время как токи в фазных катушках индуктивностей $L1$ и $L2$ спадали и нарастали за то же время по одному разу. Следовательно, частота пульсаций тока в двигателе в 2 раза больше частоты пульсаций тока в фазных катушках индуктивностей. Это справедливо на всех стадиях регулирования, т. е. изменения коэффициента заполнения $\lambda = t_u/T$. На первом этапе при изменении коэффициента заполнения каждого ТИР от 0 до 0,5 тиристорные регуляторы $TIP1$ и $TIP2$ подводят питающее напряжение к нагрузкам поочередно. На втором этапе при изменении коэффициента от 0,5 до 1 существуют интервалы времени, когда тиристорные регуляторы подводят напряжение питания к своим нагрузкам одновременно (см. рис. 108).

Из диаграммы видно, что частота пульсаций тока в двигателе в 2 раза больше, чем в фазных катушках индуктивностей как при $0 \leq \lambda \leq 0,5$, так и при $0,5 \leq \lambda \leq 1$.

В общем случае для подобных многофазных систем, когда имеется m тиристорных регуляторов, работающих со сдвигом на $360^\circ/m$, можно выделить m характерных этапов в работе тиристорных регуляторов. На первом этапе, когда $0 \leq \lambda \leq 1/m$, все регуляторы работают поочередно. На втором этапе, когда $1/m \leq \lambda \leq 2/m$, будут существовать интервалы времени одновременного проводящего состояния двух тиристорных регуляторов. На третьем этапе, когда $2/m \leq \lambda \leq 3/m$, будут существовать интервалы времени одновременного проводящего состояния трех тиристорных регуляторов и т. д.

На последнем этапе, где $(m-1)/m \leq \lambda \leq 1$, будут существовать интервалы времени одновременного проводящего состояния m тиристорных регуляторов.

Частота пульсаций тока в общей ветви нагрузки (в тяговом двигателе) при m -фазном тиристорном регуляторе будет в m раз больше, чем частота пульсаций тока в каждой фазе (фазной индуктивности).

Размах пульсаций тока в двигателе $\Delta I_d = i_{\max} - i_{\min}$ для m -фазной системы

$$\Delta I_d = \frac{U_n (j - m\lambda) \left(\lambda - \frac{j-1}{m} \right)}{f (mL_d + L)}, \quad (110)$$

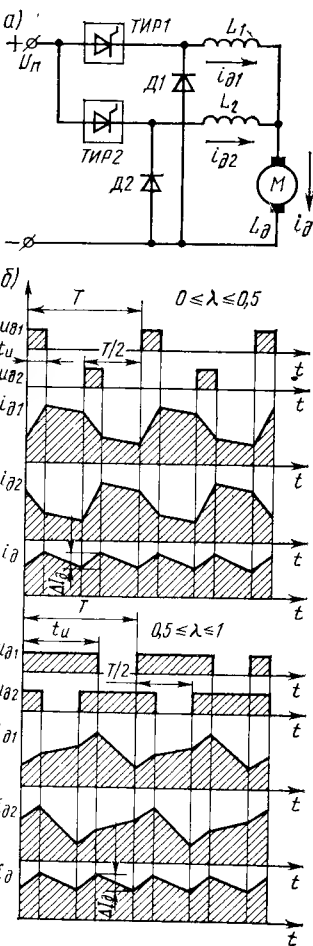


Рис. 108. Схема двухфазного ТИР с общей нагрузкой (а) и осциллограммы (б)

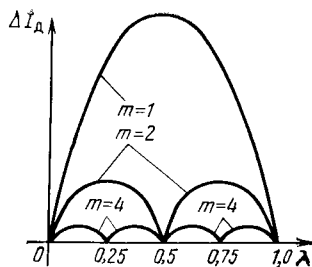


Рис. 109. Зависимость пульсаций тока ΔI_d при m -фазном ТИР от коэффициента заполнения

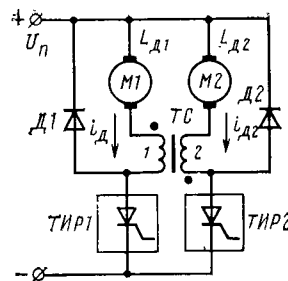


Рис. 110. Схема двухфазного ТИР с раздельной нагрузкой

где m — число фаз, работающих со сдвигом во времени;
 f — частота работы тиристорного регулятора одной фазы;
 L_{Σ} — суммарная индуктивность двигателя;
 L — фазная индуктивность ($L_1 = L_2 = \dots = L_m = L$);
 U_{Π} — напряжение источника питания;
 λ — коэффициент заполнения тиристорного регулятора каждой фазы;
 j — порядковый номер этапа, на котором определяется пульсация тока в двигателе.

Количество этапов зависит от числа фаз. Значения j следует подставлять в выражение (110) в зависимости от значений λ :

λ	0	$\frac{1}{m}$	$\frac{1}{m} \div \frac{2}{m}$	$\frac{2}{m} \div \frac{3}{m}$	...	$\frac{m-1}{m} \div 1$
j	1	2	3	...		m

В многофазных схемах пульсация тока в двигателе достигает максимальных значений m раз при изменении коэффициента заполнения λ от 0 до 1 (рис. 109). Причем максимальные значения ΔI_d соответствуют определенным значениям коэффициента заполнения λ_m . Эти значения λ_m и их количество зависят от числа фаз

$$\lambda_{mj} = \frac{2j-1}{2m}, \quad (111)$$

где m — число фаз;

j — порядковый номер этапа, на котором ΔI_d достигает своего максимального значения, $1 \leq j \leq m$.

Подставив значение λ_{mj} из выражения (111) в уравнение (110), получим

$$\Delta I_{dm} = \frac{U_{\Pi}}{4jm(mL_d + L)}. \quad (112)$$

В многофазной системе за время изменения коэффициента заполнения λ от 0 до 1 пульсация тока в двигателе проходит $m+1$ раз

через нуль (см. рис. 109). Пульсации тока ΔI_d будут равны нулю при определенных значениях λ , причем дважды на каждом j -м этапе. Так, при четырехфазной системе $m=4$; $1 \leq j \leq 4$; следовательно, имеем четыре этапа (см. рис. 109).

Рассмотрим принципиальную схему двухфазного тиристорного регулятора ТИР1, ТИР2, нагрузкой каждого из которых является тяговый двигатель соответственно М1, М2 (рис. 110). Уменьшения пульсаций в этой схеме добиваются с помощью трансформатора связи ТС. ТС имеет две одинаковые обмотки 1, 2, включенные встречно между собой так, что каждая из них обтекается своим током нагрузки или фазным током. Моменты включения и выключения ТИР1 и ТИР2 сдвинуты между собой на $0,5T$. Нулевые диоды Д1, Д2 шунтируют нагрузки соответственно первой и второй фаз.

При включении ТИР1 напряжение источника питания U_{Π} прикладывается к нагрузке первой фазы, состоящей из двигателя М1 и обмотки 1 трансформатора связи ТС. В этом режиме двигатель М2 через трансформатор ТС оказывается тоже подключенным к источнику питания, но уже последовательно с двигателем М1. Если принять, что трансформатор идеальный (коэффициент магнитной связи равен 1 и ток намагничивания равен 0), то напряжение источника питания будет распределено поровну между одинаковыми двигателями М1 и М2.

Аналогично при включении ТИР2 напряжение U_{Π} будет распределяться между двигателями М2 и М1. Следовательно, на каждый из двигателей будет приходиться половина питающего напряжения $U_{\Pi}/2$. В результате согласно выражению (57) максимальные пульсации тока ΔI_{dm} будут в 2 раза меньше.

Кроме того, эта половина питающего напряжения прикладывается к каждому двигателю дважды за один период регулирования T . Так, к двигателю М1 напряжение $U_{\Pi}/2$ прикладывается как при включении ТИР1, так и при включении ТИР2 (через ТС). Таким образом, частота пульсаций тока в каждом двигателе будет удвоенной по сравнению с частотой работы каждого тиристорного регулятора. Последнее согласно выражению (57) приводит к снижению пульсаций тока ΔI_{dm} еще в 2 раза.

В результате для схемы рис. 110 можно записать:

$$\Delta I_d = \frac{U_{\Pi}}{fL_d} \lambda (0,5 - \lambda) \text{ при } 0 \leq \lambda \leq 0,5; \quad (113)$$

$$\Delta I_d = \frac{U_{\Pi}}{fL_{\Sigma}} (0,5 - \lambda) (\lambda - 1) \text{ при } 0,5 \leq \lambda \leq 1; \quad (114)$$

$$\Delta I_{dm} = \frac{U_{\Pi}}{16fL_d}. \quad (115)$$

Таким образом, включение трансформатора связи ТС позволило в 4 раза снизить пульсации тока в нагрузке каждой фазы.

В схеме с трансформатором связи пульсация тока в каждом двигателе при изменении коэффициента заполнения λ от 0 до 1 дважды достигает своего максимального значения ΔI_{dm} при $\lambda=0,25$

и $\lambda=0,75$ и трижды принимает значения, равные нулю, при $\lambda=0$, $\lambda=0,5$ и $\lambda=1$.

Следует напомнить, что при рассмотрении схемы рис. 110 трансформатор связи считался идеальным. В практике при реальном трансформаторе связи удастся получить снижения пульсаций в 3—3,5 раза.

45. СХЕМЫ ТИРИСТОРНЫХ ПРЕРЫВАТЕЛЕЙ

Современный этап развития силовых тиристорных регуляторов характеризуется большим разнообразием схем тиристорных прерывателей, в том числе постоянного тока. Однако при всем их разнообразии они обладают характерными общими особенностями, вытекающими в основном из характеристик самих тиристоров. В основе тиристорного прерывателя лежит тот или иной способ снижения тока, протекающего через выключаемый тиристор, до значения ниже тока удержания тиристоров. В схемах регуляторов тяговых двигателей постоянного тока наиболее распространен емкостный способ коммутации тиристоров, при котором предварительно заряженный конденсатор подключается параллельно выключаемому тиристорному плечу к катоду (рис. 111). В результате ток i_T , протекавший через выключаемый тиристор, в момент времени t_0 коммутируется из тиристора в конденсатор.

В первый момент времени при $t=t_0$ подключение конденсатора C с указанной на рис. 111 полярностью обуславливает появление на тиристоре обратного напряжения U_T , которое сохраняется на нем до тех пор, пока конденсатор не разрядится током $i_C=i_T$ до нуля.

В период времени, пока на тиристоре обратное напряжение, прямой ток через него не протекает и тиристор восстанавливает свои запирающие свойства. Время, в течение которого к тиристору приложено обратное напряжение, называют схемным временем выключения тиристора t_{cx} , т. е. временем, которое предоставляется схемой тиристор для восстановления его запирающих свойств. Для нормальной работы тиристоров, очевидно, $\tau_B \leq t_{cx}$.

Схемное время в простейшем случае зависит от заряда конденсатора $q=UC$ и тока, протекавшего через тиристор,

$$t_{cx} = \frac{q}{i_T} = \frac{UC}{i_T}. \quad (116)$$

Если коммутирующий конденсатор перезаряжается до напряжения, равного начальному значению (но противополо-

ложного знака), то полное время его перезаряда

$$t_{пер} = 2t_{cx} = \frac{2UC}{i_T} \geq 2\tau_B. \quad (117)$$

Таким образом, при емкостной коммутации схемное время выключения тиристора всегда прямо пропорционально напряжению и емкости коммутирующего конденсатора и обратно пропорционально току выключаемого тиристора.

Рассмотрим схему тиристорного прерывателя с предварительным перезарядом коммутирующего конденсатора (рис. 112, а). Схема управления тиристорами обеспечивает сначала включение вспомогательного тиристора $T2$. Тогда коммутирующий конденсатор C_K будет заряжен по цепи: «+» U_n , C_K , $T2$, M , «—» U_n полярностью, указанной на рис. 112, а. После заряда конденсатора до напряжения источника питания U_n ток заряда прекращается и тиристор $T2$ выключается, а ток нагрузки i_d замыкается по цепи нулевого диода D_0 . При включении тиристора $T1$ через него будет протекать сумма двух токов: ток нагрузки i_d и ток перезаряда конденсатора i_{CK} . Причем ток i_d будет протекать по цепи: «+» U_n , $T1$, M , «—» U_n , а ток перезаряда конденсатора i_{CK} по цепи: C_K , $T1$, α , $D1$, C_K . Ток нагрузки i_d будет нарастать, так как к нагрузке, содержащей в общем случае э. д. с., индуктивное и активное сопротивления, приложено постоянное напряжение U_n . Ток перезаряда конденсатора i_{CK} будет изменяться по синусоидальному закону, обусловленному наличием в цепи его конденсатора C_K и перезарядной катушки индуктивности L . Период колебательного перезаряда конденсатора будет определяться параметрами C_K и L и равен $T_0 = 2\pi \sqrt{LC_K}$. Амплитуда перезарядного тока $i_{CKm} = U_n \sqrt{C_K/Z}$ будет достигнута через промежуток времени $t = T_0/4$ после включения тиристора $T1$ (рис. 112, б).

Процесс перезаряда конденсатора C_K заканчивается через промежуток времени $t_1 - t_0 = T_0/2$, так как изменению направления тока в колебательном контуре будет препятствовать блокирующий диод $D1$. Таким образом, при включении тиристора $T1$ коммутирующий конденсатор перезарядается только один раз — на противоположную полярность.

Из сказанного следует, что тиристор $T1$ нагружается суммой токов $i_d + i_{CK}$ и минимальное время включенного состояния тиристора $T1$ определяется временем перезаряда конденсатора C_K

$$\Delta t_1 \quad T_0/2 = \pi \sqrt{LC_K}. \quad (118)$$

Теперь, чтобы выключить тиристор $T1$, достаточно подать управляющий импульс на вход тиристора $T2$. После включения тиристора $T2$ (при $t=t_2$) напряжение конденсатора C_K приложено к тиристор $T1$ в обратном направлении, а ток нагрузки i_d начнет протекать по цепи: «+» U_n , C_K , $T2$, M , «—» U_n . Эта цепь существует на интервале времени $t_3 - t_2$, в течение которого коммутирующий

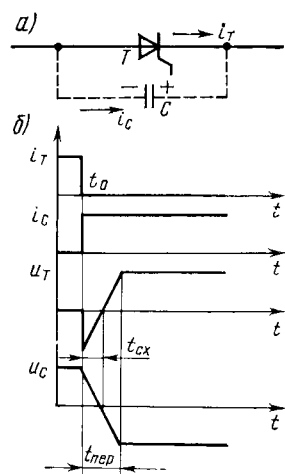


Рис. 111. Схема (а) и осциллограммы (б) при емкостной параллельной коммутации

конденсатор перезаряжается практически постоянным током до напряжения источника питания U_n первоначальной полярности.

Из рис. 112, б видно, что в процессе указанного перезаряда конденсатора существует интервал времени $t_{сх}$, в течение которого к тиристор $T1$ приложено обратное напряжение. Это время предоставляется тиристор $T1$ для восстановления его запирающих свойств в прямом направлении, оно заканчивается в момент прохождения напряжения конденсатора через нуль.

При $t=t_3$ напряжение питания U_n будет уравниваться напряжением перезаряженного конденсатора и ток через тиристор $T2$ становится равным нулю, а ток нагрузки под действием э. д. с. самоиндукции индуктивности нагрузки будет протекать, замыкаясь через нулевой диод D_0 .

Начиная с момента времени $t=t_3$, напряжение на нагрузке практически равно нулю, пока снова не включится тиристор $T1$ через период регулирования T .

Следует подчеркнуть, что на интервале времени t_3-t_2 (в процессе выключения тиристора $T1$) тяговый двигатель продолжает получать энергию от источника питания и к нему приложено напряжение (см. осциллограмму $U_{д0}$ на рис. 112, б). Минимальное время процесса перезаряда конденсатора C_K током нагрузки ограничивается временем восстановления тиристора $T1$. Чем меньше время восстановления тиристора, тем меньше можно получить интервал времени t_3-t_2 .

Время импульса напряжения на нагрузке в схеме с предварительным перезарядом конденсатора складывается из времени включенного состояния главного тиристора $T1$ и вспомогательного тиристора $T2$

$$t_n = \Delta t_1 + \Delta t_2, \quad (119)$$

В свою очередь, время включенного состояния тиристора $T1$ состоит из двух составляющих

$$\Delta t_1 = \Delta t'_1 + \Delta t''_1, \quad (120)$$

где $\Delta t'_1 = t_1 - t_0$ — время предварительного перезаряда конденсатора C_K (нерегулируемое время включенного состояния тиристора $T1$);

$\Delta t''_1 = t_2 - t_1$ — регулируемое время включенного состояния тиристора $T1$, определяемое схемой управления тиристорами.

Из рассмотрения процессов работы схемы рис. 112, а можно заключить, что минимальное время импульса напряжения на нагрузке

$$t_{n \min} = \Delta t'_1 + \Delta t_2. \quad (121)$$

С учетом выражений (118) и (117) получим

$$t_{n \min} = \pi \sqrt{LC_K} + 2\tau_B. \quad (122)$$

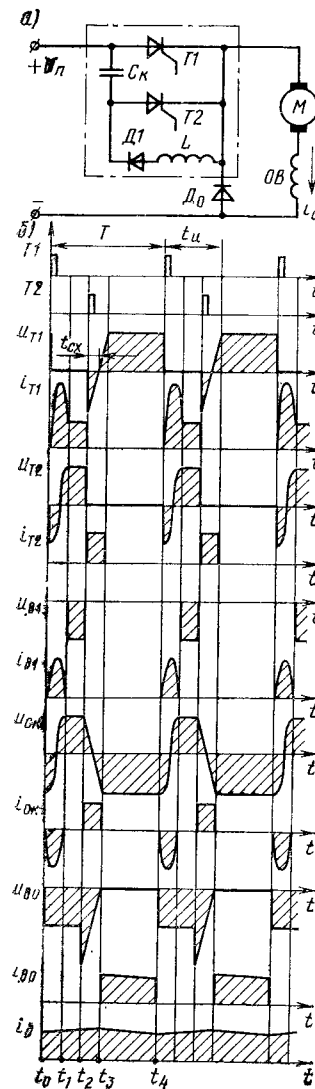


Рис. 112. Схема тиристорного прерывателя с предварительным перезарядом C_K (а) и осциллограммы (б)

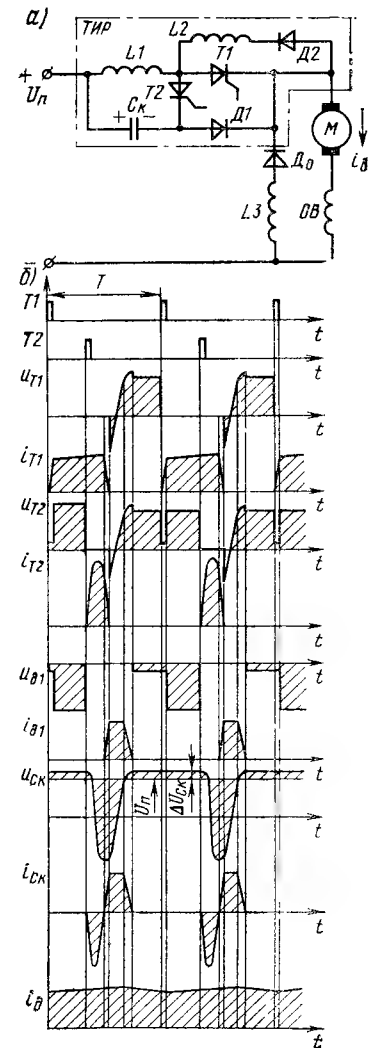


Рис. 113. Схема тиристорного прерывателя с дополнительным разрядным контуром (а) и осциллограммы (б)

Таким образом, минимальное время импульса напряжения на нагрузке в схеме с предварительным перезарядом конденсатора ограничено параметрами колебательного контура L , C_K и временем восстановления главного тиристора τ_B .

Указанные ограничения являются определенным недостатком рассмотренной схемы, так как для обычно требуемого диапазона регулирования напряжения на тяговом двигателе необходимо снижать частоту регулирования до 30—50 Гц, что увеличивает массу, размеры и стоимость сглаживающих устройств.

Другим недостатком схемы рис. 112, а является существенная зависимость коэффициента заполнения λ от напряжения питающей сети и тока нагрузки.

В связи с отмеченными недостатками практическое применение данной схемы часто сопровождается теми или иными схемными дополнениями, направленными на ликвидацию или уменьшение указанных недостатков.

Примером может служить схема, показанная на рис. 113, а, принцип действия которой во многом аналогичен схеме рис. 112, а. Напряжение к двигателю подводится при включении главного тиристора $T1$. При включении вспомогательного тиристора $T2$ происходит предварительный перезаряд коммутирующего конденсатора по цепи: $C_K, L1, T2$, после окончания которого конденсатор будет иметь полярность, противоположную указанной на схеме (рис. 113, а). По окончании процесса предварительного перезаряда конденсатора, когда его напряжение достигнет максимального значения, а ток i_{CK} пройдет через нуль (см. осциллограммы рис. 113, б), к обоим тиристорам $T1$ и $T2$ будет приложено обратное напряжение, равное напряжению конденсатора C_K , по цепи: $C_K, D1, D2, L2, L1$, и тиристоры выключаются. При этом в этом случае через коммутирующий конденсатор будет протекать сумма токов: ток нагрузки i_d и ток колебательного контура, образованного конденсатором C_K и катушками индуктивности $L1, L2$.

Таким образом, в этой схеме даже при токе нагрузки, равном нулю, произойдет перезаряд конденсатора на исходную полярность по колебательному контуру, образованному дополнительными разрядными элементами $L2, D2$. Параметры разрядной индуктивности выбирают так, чтобы при максимальном токе нагрузки энергия коммутирующего конденсатора, отдаваемая в разрядный контур, составляла сравнительно небольшую часть (10—20%) максимальной его энергии. Тогда при снижении тока нагрузки часть энергии конденсатора, отдаваемая в разрядную цепь, будет увеличиваться и при токе нагрузки $i_d=0$ вся энергия конденсатора будет проходить через разрядную цепь. Таким образом, разрядная цепь $L2, D2$ стабилизирует время перезаряда коммутирующего конденсатора при выключении главного тиристора. Это время даже при $i_d=0$ не может быть больше, чем $t_p = \pi \sqrt{C_K(L_1+L_2)}$. Напомним, что в схеме рис. 112, а это время при $i_d=0$ согласно формуле (117) равно ∞ .

Включение катушки индуктивности $L3$ в цепь нулевого диода D_0 в схеме рис. 113, а позволяет повысить нагрузочную способность тиристорного регулятора, так как конденсатор C_K получает дополнительную энергию из питающей сети пропорционально току нагрузки. Благодаря наличию катушки индуктивности $L3$ при выключении

тиристоров $T1$ и $T2$, когда конденсатор C_K перезарядится до напряжения U_n , ток нагрузки не может сразу замкнуться по цепи нулевого диода D_0 . Этому будет препятствовать э. д. с. самоиндукции в катушке индуктивности $L3$. Время, в течение которого ток в катушке $L3$ будет нарастать до тока нагрузки, будет соответствовать времени дополнительного заряда конденсатора C_K . При этом дополнительное напряжение конденсатора ΔU_{CK} будет пропорционально току нагрузки i_d

$$\Delta U_{CK} = i_d \sqrt{\frac{L_3}{C_K}}. \quad (123)$$

Наконец, изменение схемы включения главного тиристора и элементов коммутирующего узла по сравнению со схемой рис. 112, а позволяет начинать работу ТИР, включая главный и вспомогательный тиристоры в любой последовательности и даже одновременно, коммутирующие свойства тиристорного регулятора при этом не нарушаются. Это стало возможным благодаря заряду конденсатора независимо от включения тиристорov, так как он заряжается сразу после подключения схемы к источнику питания по цепи: «+» $U_n, C_K, D1, M$, «—» U_n , а также вследствие другого включения контура предварительного перезаряда вспомогательным тиристором $T2$. При этом главный тиристор не нагружается током предварительного перезаряда, что также следует считать положительным свойством данной схемы.

Известны схемы тиристорных прерывателей без предварительного перезаряда коммутирующего конденсатора. Примером таких схем может служить схема, представленная на рис. 114, а, в которой нагрузка разделена на две параллельные группы (фазы) $M1, M2$. Если же нагрузкой является один тяговый двигатель (например, на троллейбусе, электромобиле и т. д.), то в качестве двухфазной нагрузки используют сглаживающие фазные индуктивности (см. рис. 108).

Каждая из фазных нагрузок шунтирована своим нулевым диодом $D1, D2$ и имеет свой главный тиристор $T1, T2$. Коммутирующий узел, состоящий из конденсатора C_K и вспомогательных тиристорov $T3—T6$, является общим для главных тиристорov обеих фаз. Поэтому такую схему часто называют двухфазной схемой с общим узлом коммутации. Особенностью такого коммутирующего узла является отсутствие цикла предварительного перезаряда коммутирующего конденсатора.

Минимальный коэффициент заполнения в схеме рис. 114, а соответствует режиму работы, когда поочередно включаются соответствующие пары вспомогательных тиристорov $T3, T5$ и $T4, T6$. Включение четной пары вспомогательных тиристорov сдвинуто относительно момента включения нечетной пары на 180° (см. рис. 114, б).

При включении тиристорov $T3, T5$ конденсатор C_K заряжается током нагрузки первой фазы i_{d1} по цепи: «+» $U_n, M1, T3, C_K, T5$, «—» U_n . После заряда конденсатора до напряжения U_n через тири-

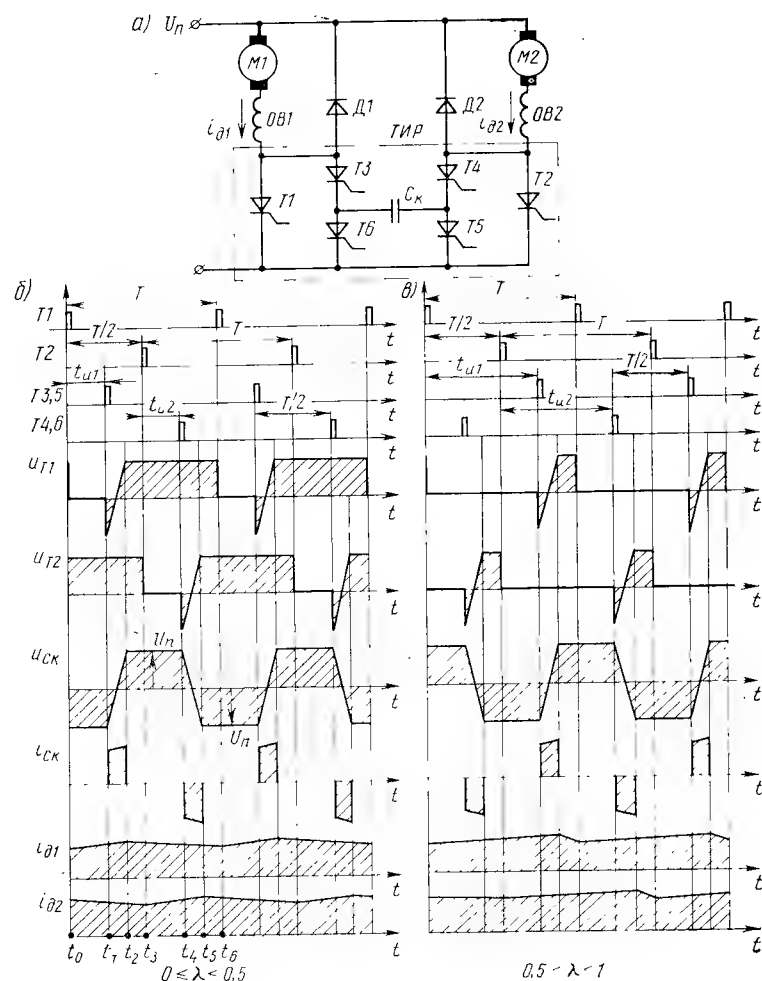


Рис. 114. Схема двухфазного тиристорного прерывателя без предварительного перезаряда C_K (а) и осциллограммы (б, в)

торы T_3, T_5 ток прекращается и они выключаются, а ток нагрузки i_{d1} замыкается через нулевой диод D_1 .

При включении следующей пары вспомогательных тиристов T_4, T_6 коммутирующий конденсатор будет перезаряжаться на противоположную полярность, но уже током нагрузки i_{d2} . Этот процесс перезаряда заканчивается, когда напряжение на конденсаторе C_K достигнет напряжения питания U_n . При этом ток через тиристы T_4, T_6 прекращается и они выключаются, а ток нагрузки i_{d2} продолжает протекать через M_2 , замыкаясь через нулевой диод D_2 . Далее снова включается пара вспомогательных тиристов T_3, T_5

и конденсатор C_K перезаряжается током нагрузки i_{d1} на противоположную полярность, т. е. процесс повторяется.

В режиме периодического перезаряда коммутирующего конденсатора через нагрузки последние получают энергию из контактной сети, равную энергии, запасаемой конденсатором в каждом цикле перезаряда.

Следовательно, в момент трогания, когда э. д. с. вращения двигателя $E=0$, минимальные ток нагрузки и коэффициент заполнения будут соответственно равны:

$$i_d = U_n \sqrt{\frac{2C_K f}{r}}; \quad (124)$$

$$\lambda_0 = \frac{U_d}{U_n} = \frac{i_d r}{U_n} = \sqrt{2C_K r f}, \quad (125)$$

где r — активное сопротивление нагрузки одной фазы; $r_1 = r_2 = r$; f — частота включений каждого вспомогательного тиристора; $f = 1/T$.

Для увеличения коэффициента заполнения ТИР служат главные тиристы T_1, T_2 , которые, как и вспомогательные тиристы, включаются со сдвигом на 180° .

При включении тиристора T_1 напряжение источника питания прикладывается к нагрузке первой фазы, в результате диод D_1 запирается, а ток в ней нарастает. Для выключения тиристора T_1 необходимо включить вспомогательные тиристы T_3, T_5 , когда напряжение на коммутирующем конденсаторе имеет полярность «+» справа. В этом случае к главному тиристу T_1 прикладывается напряжение U_{C_K} в обратном направлении. Ток через тиристор T_1 прекращается, а коммутирующий конденсатор перезаряжается на противоположную полярность («+» слева) током нагрузки по цепи: «+» $U_n, M_1, T_3, C_K, T_5, \text{«-»}$ U_n . До момента прохождения напряжения конденсатора через нуль на тиристоре T_1 имеется обратное напряжение. Этот этап перезаряда C_K обеспечивает восстановление запирающих свойств тиристора T_1 . Ток через вспомогательные тиристы T_3, T_5 прекращается после того, как конденсатор перезарядится до напряжения источника питания. Начиная с этого момента, ток нагрузки первой фазы будет снова замыкаться через диод нулевого контура D_1 , а коммутирующий конденсатор C_K будет подготовлен к выключению главного тиристора второй фазы.

После включения главного тиристора T_2 напряжение U_n прикладывается к нагрузке второй фазы и процессы в ней протекают аналогично первой фазе (рис. 114, б). Для выключения тиристора T_2 включаются вспомогательные тиристы T_4, T_6 . При этом напряжение конденсатора C_K прикладывается в обратном направлении к тиристору T_2 и последний выключается, а конденсатор перезаряжается на противоположную полярность по цепи: «+» $U_n, M_2, T_4, C_K, T_6, \text{«-»}$ U_n , подготавливая к выключению главного тиристора первой фазы. Далее процессы повторяются.

Для схемы с общим узлом коммутации различают две зоны изменения коэффициента заполнения λ тиристорного регулятора. Зона работы без перекрытия, когда $0 \ll \lambda \leq 0,5$, характеризуется тем, что напряжение на фазных нагрузках появляется и становится равным нулю строго поочередно со сдвигом на 180° вследствие поочередного проводящего состояния главных тиристоров.

Вторая зона, когда $0,5 \ll \lambda \leq 1$, характеризуется тем, что в кривых напряжения на нагрузке имеются интервалы времени, когда напряжение одновременно приложено к нагрузкам обеих фаз, благодаря одновременному проводящему состоянию главных тиристоров.

Осциллограммы на элементах схемы рис. 114, а приведены для двух режимов работы — без перекрытия (см. рис. 114, б) и с перекрытием (рис. 114, в).

Таким образом в схеме рис. 114, а происходит регулирование среднего напряжения на нагрузках от 0 до U_n . При этом каждый цикл перезаряда коммутирующего конденсатора является «полезным», так как при этом выключается один из главных тиристоров $T1$ или $T2$. Отсутствие «холостого» подготовительного цикла перезаряда конденсатора уменьшает его реактивную мощность, а также расширяет диапазон регулирования напряжения на нагрузке. Последнее достигается тем, что снижается минимальное напряжение на нагрузке вследствие исключения подготовительного цикла перезаряда конденсатора, в течение которого к нагрузке подводилась энергия от источника питания.

Схема ТИР (см. рис. 114, а) может быть также дополнена разрядными (стабилизирующими) цепями и цепями дополнительного заряда конденсатора в зависимости от тока нагрузки.

Существуют и другие способы улучшения эксплуатационных свойств тиристорных прерывателей. В частности, известны схемы, в которых напряжение на нагрузке не превышает напряжения питания; позволяющие получить минимальный коэффициент заполнения близкий к нулю при высокой частоте регулирования; с меньшим числом полупроводниковых приборов, дающие возможность вести регулирование только изменением частоты включения тиристоров и т. д.

46. ЗАЩИТА СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ В ТИРИСТОРНЫХ РЕГУЛЯТОРАХ

Необратимые процессы в силовых полупроводниковых приборах связаны чаще всего с увеличением температуры их $p-n$ -переходов. При превышении температуры $p-n$ -перехода $>140^\circ\text{C}$ диоды и тиристоры теряют свои основные технические характеристики, такие приборы уже не способны работать в схемах и неремонтопригодны, они подлежат замене. Причины повышения температуры $p-n$ -переходов связаны с повышением мощности потерь в полупроводниковой структуре и в приборе в целом. Это следует учитывать при разработке полупроводниковых схем, выборе полупровод-

никовых элементов и строго соблюдать технические условия на применяемые полупроводниковые приборы и рекомендации по их защите.

Известные меры по защите полупроводниковых приборов так или иначе связаны с уменьшением потерь и, следовательно, температуры в полупроводниковой структуре.

Защита от перенапряжений. В процессе работы тиристорно-импульсных регуляторов периодически включаются и выключаются те или иные полупроводниковые приборы. Эти процессы сопровождаются появлением напряжений на полупроводниковых приборах, которые могут достигать опасных для них значений. Природа перенапряжений заключается в том, что при восстановлении запирающих свойств полупроводниковых приборов происходит очень быстрое (несколько микросекунд) изменение проводимости $p-n$ -перехода, которое приводит к столь же быстрому изменению тока, протекающего через прибор. В реальной схеме практически всегда имеется индуктивность в цепи полупроводникового прибора (элементы схемы, провода и т. п.) и поэтому при быстром изменении тока в ней появляется э. д. с. самоиндукции, которая прикладывается к полупроводниковому прибору. Значение э. д. с. самоиндукции зависит от индуктивности цепи и скорости изменения тока в ней, т. е. скорости изменения проводимости $p-n$ -перехода. Скорость изменения проводимости $p-n$ -перехода зависит в свою очередь от нескольких параметров, среди них: прямой ток через прибор непосредственно перед выключением, скорость спадающего прямого тока, обратный (сквозной) ток и скорость его нарастания, температура $p-n$ -перехода, конструкция и технология изготовления прибора и др.

Наиболее часто встречающимся средством снижения указанного перенапряжения является включение параллельно каждому полупроводниковому прибору цепочки, состоящей из последовательно включенных резисторов R сопротивлением 10—30 Ом и конденсатора C емкостью 0,5—2 мкФ. Параметры защитных RC -цепей зависят от многих факторов, в том числе от типа полупроводниковых приборов, протекающих через них токов, а также схемы включения прибора, монтажа и др.

Окончательно проверяют параметры RC -цепей опытным путем во время работы тиристорного прерывателя. Защитные RC -цепи включаются для защиты как силовых тиристоров, так и диодов.

Другим способом ограничения перенапряжений на полупроводниковых приборах служит включение параллельно защищаемому прибору другого полупроводникового прибора с лавинной характеристикой в обоих направлениях — ограничителя напряжения, который способен в течение короткого времени ограничить напряжение на своих зажимах. Характеристику ограничителя напряжения выбирают так, чтобы напряжение его лавинообразования было ниже неповторяющегося напряжения защищаемого полупроводникового прибора. Следует отметить, что защита полупроводниковых приборов ограничителями напряжения увеличивает стоимость преобразователя на 15—30%.

Ограничение скорости нарастания прямого тока. Скорость, с которой происходит нарастание прямого тока через тиристор, для каждого типа прибора регламентируется. Превышение этой скорости может приводить к недопустимому перегреву тиристора и выходу его из строя. Данное ограничение связано с процессом отпирания тиристора. При подаче импульса управления на вход тиристора последний переходит из закрытого состояния в проводящее. Однако вся площадь шайбы прибора становится проводящей не сразу после появления импульса управления. Сначала увеличивается проводимость той части шайбы, которая расположена ближе к управляющему электроду. Затем зона проводимости увеличивается за счет периферийных по отношению к управляющему электроду областей полупроводниковой шайбы.

Время распространения зоны проводимости по полупроводниковой шайбе, хотя и составляет несколько микросекунд, может оказаться достаточным для локального перегрева и выхода тиристора из строя, если на время, пока проводит ток только часть шайбы, не принять меры по его ограничению. Иными словами, на интервале времени отпирания тиристора необходимо дозировать анодный ток в соответствии со скоростью распространения зоны проводимости полупроводниковой шайбы. Обычно в схемах тиристорных прерывателей ограничение скорости нарастания тока в тиристорах обеспечивают включением в анодную цепь защищаемого тиристора катушки индуктивности линейной или нелинейной.

Допустимая скорость нарастания тока $[di/dt]_{\text{доп}}$ обычно известна для данного типа тиристора. Если перед включением к тиристорному было приложено постоянное напряжение, то индуктивность выбирают их соотношения

$$L \geq \frac{U}{[di/dt]_{\text{доп}}} \quad (126)$$

Включение в цепь тиристора катушки с линейной индуктивностью, как правило, приводит к увеличению емкости коммутирующего конденсатора, а в некоторых случаях может оказать нежелательное влияние на переходные процессы в тиристорном регуляторе.

В значительно меньшей степени указанные недостатки проявляются, если вместо катушки с линейной индуктивностью включить в цепь тиристора дроссель насыщения. Обычно обмотка дросселя насыщения размещается на стальном сердечнике (чаще тороидальной формы), имеющем прямоугольную петлю гистерезиса. Поэтому при включении тиристора в первый момент напряжение прикладывается к дросселю насыщения и через него протекает ток намагничивания (единицы ампер) до тех пор, пока не произойдет насыщение сердечника дросселя. Время задержки анодного тока тиристора, т. е. время насыщения сердечника дросселя, должно быть больше времени включения тиристора. Время насыщения дросселя

$$t_{\text{нас}} = \frac{2B_{\text{max}} WS\kappa_3}{U} 10^{-4}, \quad (127)$$

где B_{max} — максимальная индукция сердечника, Тл;

W — число витков обмотки дросселя;

S — сечение стали сердечника, см²;

κ_3 — коэффициент заполнения стали, $\kappa_3 = 0,8 \div 0,9$;

U — среднее напряжение, приложенное к дросселю, В.

После насыщения дросселя индуктивность его резко уменьшается и мало оказывает влияния на процессы в тиристорном регуляторе.

К недостаткам дросселей насыщения можно отнести более сложную конструкцию и технологию изготовления, а также необходимость перемагничивания их в исходное состояние с частотой работы тиристорного регулятора.

На потери в тиристорах в начале их включения оказывают также существенное влияние параметры управляющих сигналов. Чем больше амплитуда и крутизна переднего фронта управляющего сигнала, тем меньше эти потери. Поэтому для снижения потерь при включении тиристорных управляющие сигналы стремятся сделать в форме импульсов с большой крутизной переднего фронта (до 2 А/мкс) и большой амплитудой (до 1—2 А). Чтобы не перегрузить вход тиристора по току, длительность управляющих импульсов ограничивают временем 50—100 мкс.

Следует отметить, что значения указанных параметров управляющих импульсов тиристорных можно считать ориентировочными, так как они зависят от конкретного типа тиристора.

Ограничение скорости нарастания прямого напряжения. Изменение во времени прямого напряжения на тиристорах сопровождается протеканием токов в полупроводниковой структуре через емкостное сопротивление утечки. Этот ток способствует отпиранию тиристора в прямом направлении. Причем, чем больше скорость нарастания прямого напряжения, тем больше емкостный ток утечки и, следовательно, вероятность ложного отпирания тиристора.

Для защиты тиристорных от ложного отпирания при приложении к нему прямого анодного напряжения стремятся не превышать некоторой, оговоренной в паспорте тиристора допустимой скорости нарастания прямого напряжения $(dU/dt)_{\text{доп}}$. Ограничение скорости нарастания прямого напряжения на тиристорах достигают включением параллельно тиристорной RC-цепи.

Следует отметить, что специальные средства ограничения скорости нарастания прямого напряжения требуются не во всех схемах и не на всех тиристорах. В тех случаях, когда прямое напряжение на тиристорах определяется скоростью заряда коммутирующего конденсатора, необходимости в специальных средствах для ограничения dU/dt не возникает, так как требование по времени восстановления тиристора уже обеспечивает требования по ограничению dU/dt .

Защита полупроводниковых приборов от короткого замыкания. Режимы короткого замыкания, которые имеют место как при случайном замыкании проводов, так и при сбоях в работе самого тиристорного регулятора, являются опасными режимами для полу-

проводниковых приборов. Поэтому при выборе средств их защиты следует учитывать время срабатывания защиты, перегрузочную способность полупроводниковых приборов, а также их исходную (рабочую) температуру.

Большое значение для защиты полупроводниковых приборов по току имеет место их включения в схему.

Для снижения вероятности протекания тока к.з. через полупроводниковые приборы тиристорный регулятор стремятся включать в минусовый провод схемы. Причем таким образом, чтобы в наиболее вероятных случаях возникновения короткого замыкания в цепь контура короткого замыкания попадали элементы схемы, способные ограничить амплитуду тока к.з. (реактор помехоподавления, двигатели, сглаживающие индуктивности и т.д.).

С учетом вышеизложенного и опыта использования тиристорных систем на подвижном составе защиту полупроводниковых приборов можно осуществлять автоматическими выключателями со свободным расцеплением, которые используют на подвижном составе для защиты электрооборудования. Кроме автоматических выключателей, при необходимости могут применяться специальные быстродействующие предохранители.

47. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТИРИСТОРНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

Схемы управления тиристорными регуляторами служат для формирования импульсов, подаваемых на тиристоры регулятора в определенной последовательности и по заранее заданному закону.

Рассмотрим структурную схему управления тиристорно-импульсным регулятором (рис. 115, а). Объект регулирования в виде тяговых электродвигателей ТД подключен к источнику питания ИП через тиристорно-импульсный регулятор ТИР. Сигнал обратной связи ОС, например ток тягового двигателя, поступает на вход измерительного датчика ИД, на выходе которого вырабатывается сигнал, пропорциональный току тягового двигателя. Этот сигнал поступает в узел сравнения УС, в котором алгебраически складываются две величины: сигнал,

пропорциональный току тяговых двигателей, и сигнал, поступающий с задающего устройства ЗУ. Сигналы, подводимые к узлу сравнения от задающего устройства и измерительных датчиков, имеют разные знаки. Поэтому на выходе узла сравнения формируется ΔU , равный разности задаваемого и измеряемого сигналов, который часто называют сигналом рассогласования. Сигнал рассогласования ΔU вместе с выходным сигналом генератора пилообразного напряжения ГПН подается на компаратор К, который преобразует величину сигнала рассогласования во временной интервал (рис. 115, б). Генератор пилообразного напряжения представляет собой устройство, на выходе которого вырабатывается периодическое напряжение, линейно меняющееся во времени.

Компаратор имеет два устойчивых состояния, в одном из которых выходное напряжение компаратора равно нулю, в другом — не равно нулю. Причем переход из одного устойчивого состояния в другое происходит в зависимости от знака разности двух сравниваемых входных величин. Из рис. 115, б видно, что пока напряжение $U_{ГПН}$ больше напряжения сигнала рассогласования ΔU , на выходе компаратора напряжение не равно нулю. Если же $U_{ГПН} < \Delta U$, то на выходе компаратора напряжение равно нулю.

При неизменном заданном сигнале изменение тока в двигателе приводит к изменению сигнала рассогласования ΔU , что в свою очередь изменяет моменты срабатывания компаратора (на рис. 115, б показано штриховыми линиями).

Сигналы с выхода компаратора поступают через усилители У на вход формирователей импульсов ФИ, которые в момент изменения состояния компаратора вырабатывают импульсы, подаваемые на тиристоры силового регулятора.

Подача импульсов управления на тиристоры, а также выходной сигнал задающего устройства зависят от режима движения подвижного состава, который задается в общем случае водителем с помощью контроллера управления. Логическая связь контроллера управления с узлами системы управления регулятором осуществляется через специальный логический блок ЛБ.

Как видно из рис. 115, б, если импульсы, формируемые при появлении напряжения на выходе компаратора, подать на главные тиристоры ГТ, а импульсы, формируемые при появлении нулевого сигнала на выходе компаратора, подать на коммутирующие тиристоры КТ, то временное расстояние между этими импульсами будет определять коэффициент заполнения λ тиристорно-импульсного регулятора ТИР.

Таким образом, в процессе регулирования тока в тяговых электродвигателях отклонение тока от заданного значения автоматически приводит к изменению сигнала рассогласования и, в конечном счете, к изменению коэффициента заполнения тиристорного регулятора и напряжения на тяговых двигателях.

Этот принцип автоматического регулирования тока в тяговых двигателях сохраняется и при регулировании других параметров, например, тока возбуждения или напряжения на двигателях.

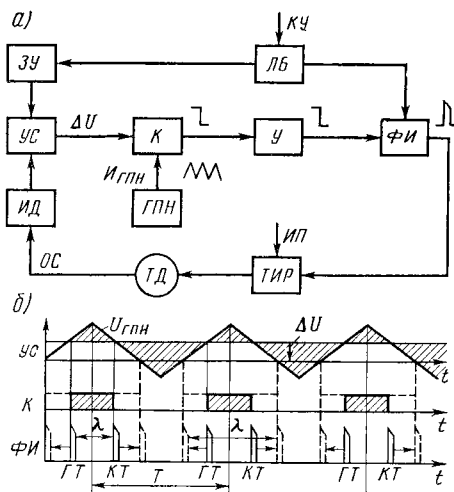


Рис. 115. Структурная схема замкнутой тиристорной системы регулирования (а) и диаграммы (б)

КОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С ТИРИСТОРНО-ИМПУЛЬСНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

48. КОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

На подвижном составе, оборудованном тиристорно-импульсными системами управления, наряду с «традиционным» электрооборудованием (тяговыми электродвигателями, контакторами, реверсорами, токоприемниками, резисторами и т. д.) появилось новое электрооборудование, сопутствующее этим системам управления. К нему можно отнести блок силовой тиристорный (БСТ), электронный блок управления (ЭБУ), блоки коммутирующих и фильтровых конденсаторов, фазные дроссели и др.

Все электрооборудование для тиристорной системы управления должно отвечать общим требованиям к тяговому электрооборудованию — механической и электрической прочности, защищенности от пыли и влаги, влиянию температуры окружающей среды, надежности, минимальных размеров и массы, удобству обслуживания и др.

Силовые блоки тиристорно-импульсных преобразователей. Силовые полупроводниковые приборы — диоды и тиристоры — конструктивно включаются в отдельный блок, который называют силовым тиристорным блоком (БСТ). Часто в него входят и другие вспомогательные элементы и аппараты — катушки индуктивности, трансформаторные модули для управления тиристорами, защитные RC-цепи, некоторые функциональные узлы и др.

Рассмотрим конструкцию силового тиристорного блока БС-75 трамвайного вагона РВЗ-7 (рис. 116). В нем силовые тиристоры и диоды 28 крепятся на охладителях 17 с помощью резьбового соединения. Охладители расположены в блоке таким образом, что их ребра образуют вентиляционный канал, по которому от вентилятора через входное отверстие, защищенное сеткой 4, поступает охлаждающий воздух. Причем охладители, имеющие наибольшую тепловую нагрузку, расположены ближе ко входному отверстию вентиляционного канала, чтобы они охлаждались еще неподогретым воздухом.

Большинство охладителей соединены между собой попарно, образуя силовые модули 13, в которых два охладителя стягиваются между собой двумя шпильками через специальные отверстия

в них. Между собой охладители модуля изолируют токонепроводящей прокладкой 16. Изоляция охладителей модуля от металлического корпуса блока обеспечивается изоляционными втулками, надеваемыми на шпильки.

Наибольшая токовая нагрузка приходится на главные тиристоры. Поэтому они устанавливаются на большие охладители 11, которые в отличие от охладителей других силовых полупроводников монтируются индивидуально.

Силовые полупроводниковые приборы заворачивают в тело охладителя через металлические фигурные шайбы 26, в которых предусмотрено отверстие для болтового крепления 14 электрических проводников 25, соединяющих охладители с другими элементами электрической схемы. Гибкий вывод каждого полупроводникового прибора закрепляют болтом либо на изоляционной планке 15, либо на фигурной шайбе соседнего охладителя 18.

Силовую часть электрической схемы БС-75 собирают с помощью специальных перемычек 12.

Для уменьшения потерь в тиристорах при их отпирании в электрическую схему прерывателя включены дроссели насыщения 35, которые в целях упрощения монтажа размещены в нижней части силового тиристорного блока. Там же размещаются катушки индуктивности 34, обеспечивающие дополнительный заряд коммутирующего конденсатора в зависимости от тока нагрузки. Индуктивности 21 дополнительного разрядного контура для стабилизации схемного времени выключения главных тириستоров при колебаниях тока нагрузки расположены в верхней части силового блока между панелями RC-цепей 10.

Трансформаторы тока 37 для контроля времени перезаряда коммутирующего конденсатора расположены в нижней части блока на общей панели 36 с дросселями насыщения 35 и катушками индуктивности дополнительного заряда 34. Указанные катушки индуктивности вместе с дросселями насыщения и трансформаторами тока заливают эпоксидной смолой в специальных формах и крепят на гетинаксовой плите 36.

Защитные RC-цепи 33 размещены на четырех отдельных панелях 10, расположенных симметрично относительно отсека тиристорных модулей. Причем для лучшего охлаждения резисторы RC-цепей расположены на той стороне панели, которая обращена к воздушному каналу. Панели RC-цепей выполнены съемными для возможности осмотра и проверки целостности монтажа с обеих сторон. С одной стороны панели крепятся захватом 19 за скобу 20, приваренную к корпусу 9 силового блока. С противоположной стороны приклепан кронштейн 22, которым фиксируется панель относительно продольной балки 30 БСТ болтовым соединением 31.

Для подачи управляющих импульсов на силовые тиристоры применяют разделительные трансформаторы, которые совместно с резисторами и диодами в цепях управляющих электродов тиристоров заливают эпоксидной смолой в трансформаторные модули 7. Эти модули расположены на панелях с RC-цепями. Транс-

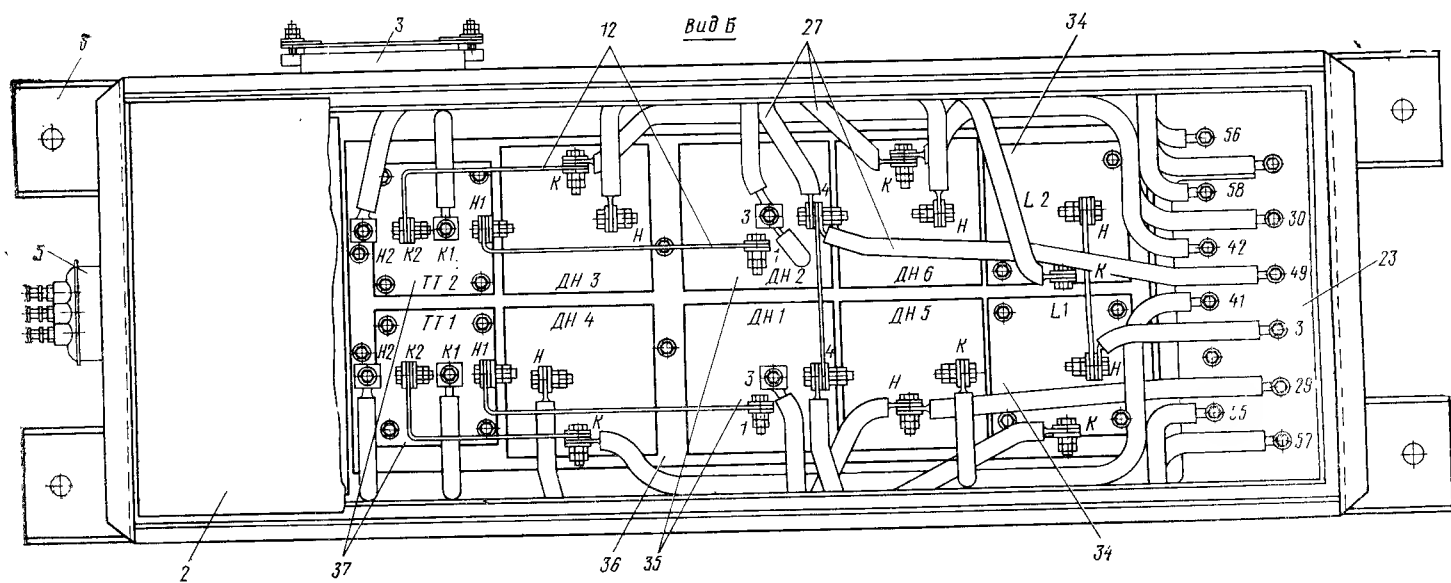
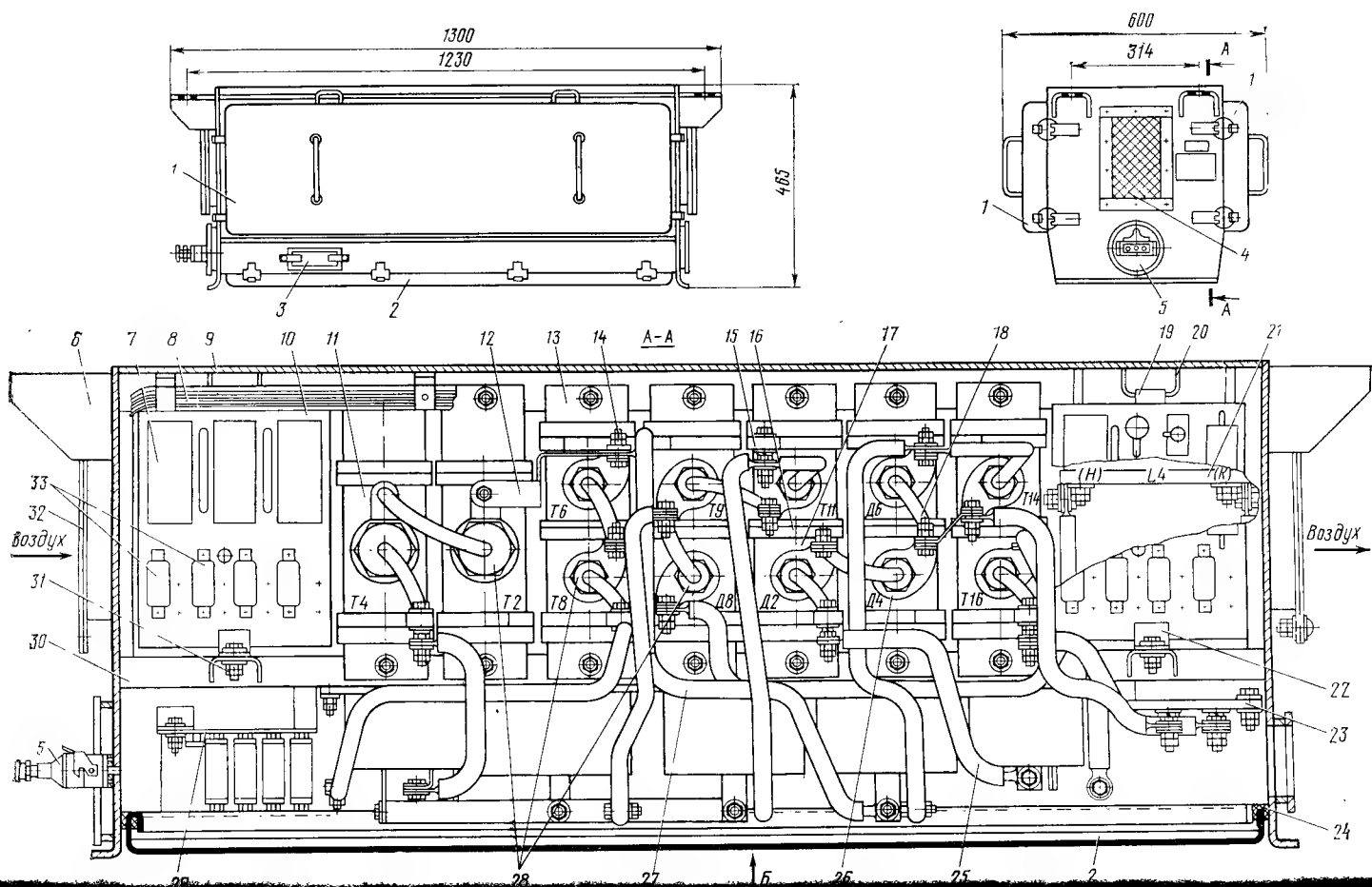


Рис. 116. Конструкция силового тиристорного блока БС-75

форматорные модули имеют, кроме первичной и выходных обмоток, обмотки перематгничивания и контрольную. Контрольные обмотки всех трансформаторных модулей выведены в специальный контрольный разъем 3, расположенный на корпусе силового блока. Наличие контрольного разъема способствует быстрому диагностированию работоспособности схемы управления тиристорами.

Для включения тиристоров реостатного торможения служит узел высоковольтной защиты, который расположен на отдельной изоляционной панели 29 и находится также в силовом тиристорном блоке.

Для электрического соединения силового тиристорного блока с другими элементами электрической схемы подвижного состава все необходимые точки силовой схемы БСТ выведены на отдельную силовую панель с выводами 23, а схемы управления БСТ — на разъем цепей управления 5. Внутренний монтаж силовых цепей осуществляется медными шинами 12 либо гибкими приводами 27. Монтаж цепей управления осуществляют отдельными жгутами 8, закрепляемыми по всей трассе во избежание отламывания отдельных проводов при тряске в эксплуатации.

Силовые тиристорные блоки располагаются обычно под кузовом подвижного состава. Для осуществления ремонтов и профилактических осмотров блока в нем предусмотрены легкоъемные две боковые 1 и одна нижняя 2 крышки. Съемные крышки имеют уплотнения 24 из пористой резины, предотвращающие попадание воды и грязи в БСТ при движении.

Крепление БСТ к раме кузова подвижного состава осуществляют с помощью четырех опор подвески 6.

Силовой тиристорный блок (см. рис. 116) входит в состав тиристорного регулятора типа РТ 300/700 Е, установленного на трамвайных вагонах РВЗ-7. Масса указанного силового блока составляет не более 200 кг.

Электронный блок управления. Электронный блок управления (ЭБУ) включает в себя несколько функциональных узлов и служит для управления силовыми тиристорами по определенному алгоритму. В ЭБУ входят источники постоянного и переменного питающего напряжения, фазосдвигающие устройства, формирова-тели импульсов, стабилизаторы напряжения, логические устройства и др.

Общий вид ЭБУ трамвайного вагона РВЗ-7 представлен на рис. 117. Электронный блок управления конструктивно состоит из четырех кассет 4, электрическое соединение между которыми осуществляется с помощью специальных разъемов, расположенных на задней торцевой части каждой кассеты. Электрическое соединение ЭБУ с внешними элементами схемы осуществляется с помощью двух разъемов ШР-35, расположенных на задней стенке каркаса электронного блока управления.

Кассеты ЭБУ вставляются в каркас 1 по специальным направляющим и крепятся винтами 3, выведенными на лицевую панель

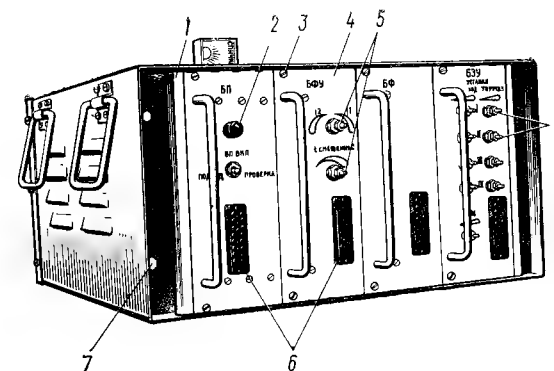


Рис. 117. Общий вид электронного блока БУ-31

каждой кассеты. На лицевую панель кассет выводятся регулируемые резисторы 5, которыми при необходимости можно регулировать уставки тока двигателей, значение ограничения напряжения на двигателях при торможении и других параметров. На лицевую панель блока питания выведена сигнальная лампа 2, контролирующая рабочее состояние преобразователей постоянного напряжения, получающих питание от аккумуляторной батареи.

Все кассеты ЭБУ на лицевых панелях имеют гнезда 6, подсоединенные к контрольным точкам электрической схемы функциональных узлов, размещенных в данной кассете. Контрольные точки используют для проверки и диагностирования работоспособности отдельных узлов и электронного блока управления в целом. В процессе эксплуатации неисправные кассеты могут заменяться однотипными исправными кассетами. При этом вновь устанавливаемые кассеты подстраивают переменными резисторами, выведенными на лицевые панели кассет.

Электронный блок управления типа БУ-31 имеет массу не более 40 кг и устанавливается на трамвайном вагоне РВЗ-7 в кабине водителя в специальном отсеке, имеющем жалюзи для естественной вентиляции. В отсеке ЭБУ крепится с помощью опорных уголников, имеющих четыре отверстия для болтового соединения 7 с опорными поперечинами отсека.

49. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ВАГОНА РВЗ-7 С ТИРИСТОРНО-ИМПУЛЬСНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В СССР первые образцы подвижного состава городского электрического транспорта с тиристорно-импульсными системами управления были созданы в конце 60-х — начале 70-х годов.

Основные принципы, изложенные в гл. IX, импульсного управления являются общими для подвижного состава трамвая и троллейбусов. Конкретные же схемные решения тех или иных техни-

ческих вопросов могут иметь существенные различия. Это в основном объясняется спецификой подвижного состава, различным количеством тяговых двигателей и др.

В основу тиристорных прерывателей, установленных на отечественных опытных троллейбусах и трамвайных вагонах, был положен двухфазный тиристорный прерыватель с общим узлом емкостной принудительной коммутации.

Ниже в качестве примера приводится описание работы электрических схем трамвайного вагона РВЗ-7 с тиристорно-импульсной системой управления.

Характеристика электрического оборудования. Трамвайный вагон РВЗ-7 оборудован автоматической системой управления, которая обеспечивает плавный безростатный пуск, плавное регулирование возбуждения тяговых двигателей как в режиме пуска, так и в режиме электрического торможения; рекуперативное торможение практически до полной остановки вагона; реостатное торможение, которое используется в качестве замещающего торможения в случае отказа рекуперации. Последнее может происходить при отсутствии потребителя на линии, отрывах токоприемников и проезде спецчастей контактной сети.

Управляется вагон водителем с помощью контроллера, который имеет 4 ходовых и 5 тормозных положений. Пуск на ходовых положениях может осуществляться в зависимости от номера положения при токах в тяговых двигателях 120 А (X1), 180 А (X2), 240 А (X3) и 300 А (X4). Причем на первых трех положениях пуск завершается переходом на автоматическую характеристику полного возбуждения, а на положении X4 переходом на автоматическую характеристику максимально ослабленного возбуждения. На вагоне все положения являются ходовыми, время работы на которых не ограничивается. Это объясняется наличием безреостатного пуска.

Торможение вагона осуществляется электрическим служебным тормозом. Основным видом электрического торможения является рекуперативное, которое может автоматически замещаться реостатным. Возможен также автоматический обратный переход с реостатного на рекуперативное торможение. Последнее осуществляется при появлении потребителя. В принципе возможен режим наложения двух видов электрического торможения — рекуперативного и реостатного. При этом среднее значение тормозного тока в тяговых двигателях остается неизменным, но он замыкается как через контактную сеть, так и через тормозные реостаты.

Первые 4 тормозных положения контроллера водителя служат для торможения с различной уставкой тормозного тока: 100 А (Т1), 150 А (Т2), 200 А (Т3) и 260 А (Т4). Пятое тормозное положение служит для экстренного торможения.

Вагон оборудован, кроме электрического, механическим тормозом с пневматическим приводом и электромагнитным рельсовым тормозом. Механический тормоз используется при дотормаживании вагона до остановки (со скорости 3—5 км/ч), а также для удер-

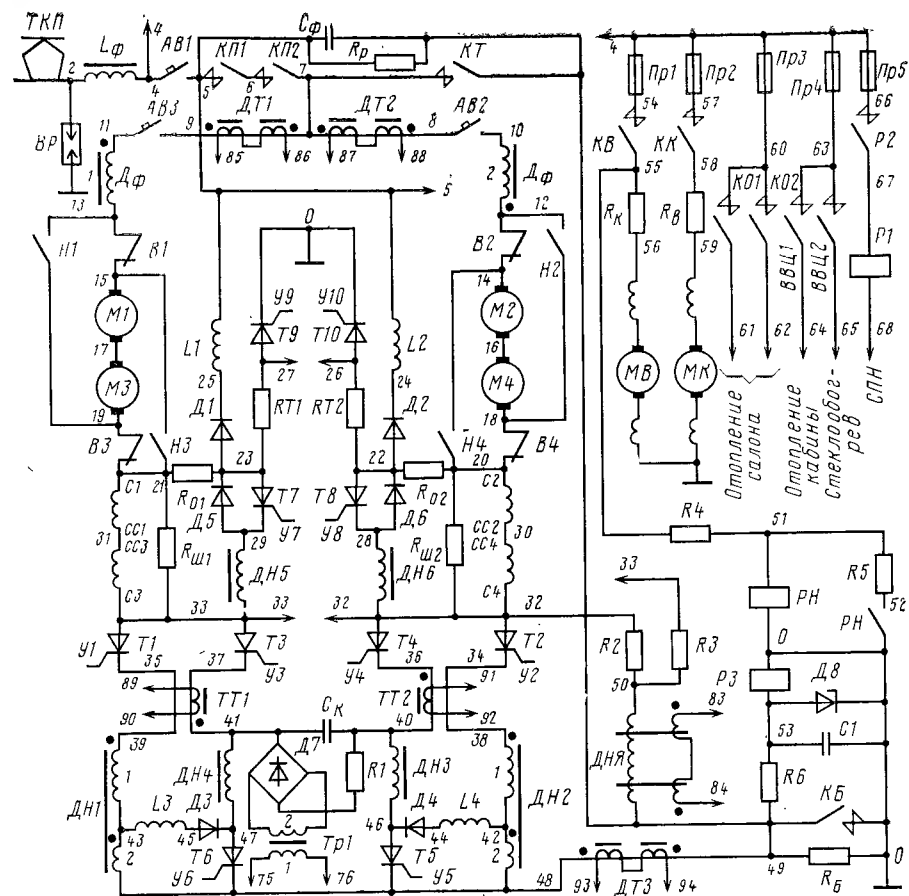


Рис. 118. Принципиальная силовая схема трамвайного вагона РВЗ-7

жания вагона на уклоне. Кроме того, механический тормоз применяется как замещающий при отказе электрического тормоза. Электромагнитный рельсовый тормоз предназначен для экстренного торможения вагона и может накладываться на другие виды тормозов как по воле водителя, так и автоматически.

В схеме вагона предусмотрена возможность работы по системе многих единиц.

Силовая схема вагона. Представленная на рис. 118 силовая схема вагона состоит из четырех тяговых двигателей $M1-M4$ типа ДК261А мощностью по 60 кВт, тиристорного регулятора РТ 300/700Е-У2, входного фильтра L_{ϕ} , C_{ϕ} (L_{ϕ} типа ИК-22А, C_{ϕ} типа БК-10), двухобмоточного трансформатора связи Дф типа Дф-7, реверсора В, Н типа ПР-771А, контакторов КП1, КП2, КТ, КБ типа КПП-114 и реостатов РТ1 и РТ2 сопротивлением 1,96 Ом, $R_{01}=R_{02}=0,042$ Ом, $R_{ш1}=R_{ш2}=1,45$ Ом, $R_B=0,99$ Ом.

Питание вагона осуществляется через токоприемник ТКП. Для защиты электрооборудования вагона при коротких замыканиях предусмотрен автоматический выключатель АВ1 типа АЗ722Б. Защита тяговых двигателей по току осуществляется автоматически выключателями АВ2 и АВ3 типа АЗ712Б как в режиме пуска, так и при торможении.

Четыре тяговых двигателя соединены в две группы по два (М1, М3 и М2, М4) последовательно во всех режимах. Они совместно с обмотками трансформатора связи Дф образуют нагрузку для двухтактного тиристорного регулятора. Причем двигатели М1, М3 и обмотка 1Дф образуют нагрузку одной фазы, двигатели М2, М4 и обмотка 2Дф — другой фазы тиристорного регулятора.

Индивидуальные электромагнитные контакторы КП1, КП2 и КТ совместно с групповым переключателем (реверсором) используются для сборки пусковой и тормозной схемы. Контактор КБ закорачивает балластный резистор R_b при пуске.

Групповой переключатель с контактами Н1—Н4 и В1—В4 используется для перехода с пуска на тормоз (и обратно) и для реверсирования направления движения вагона.

Балластный резистор R_b используется при рекуперативном и реостатном торможении. При рекуперативном торможении R_b позволяет осуществлять эффективное торможение во всем диапазоне скоростей независимо от колебаний напряжения в контактной сети. При реостатном торможении сопротивление резистора R_b добавляется к сопротивлению тормозных реостатов.

С помощью резисторов R_{01} , R_{02} ограничивается минимальный коэффициент регулирования возбуждения тяговых двигателей α , который на вагоне РВЗ-7 составляет 0,3. Резисторы $R_{ш1}$ и $R_{ш2}$ шунтируют обмотки возбуждения тяговых двигателей и ограничивают максимальные напряжения на этих обмотках при работе тиристорного регулятора.

Для сглаживания тока в контактной сети на входе тиристорной системы регулирования установлен Г-образный LC-фильтр, шунтированный разрядным резистором R_p . Индуктивность L_f составляет около 3,0 мГн. Суммарная емкость входного конденсатора C_f составляет 1200 мкФ. Коммутирующий конденсатор C_k емкостью 80 мкФ предназначен для выключения главных тириستоров Т1, Т2 тиристорного регулятора напряжения, тириستоров Т7, Т8 регулятора тока возбуждения тяговых двигателей и тиристоров Т9, Т10, подключающих тормозные резисторы $RT1$, $RT2$.

Начальный заряд конденсатора C_k обеспечивают трансформатор подзаряда Тр1, выпрямительный мост Д7 и балластный резистор $R1$.

В цепь обмоток якорей тяговых двигателей каждой фазы включены датчики тока ДТ1, ДТ2, построенные на базе трансформаторов постоянного тока. На выходе датчиков вырабатывается сигнал, пропорциональный току соответствующей группы тяговых двигателей. Датчик тока ДТ3, включенный последовательно с тиристорным регулятором напряжения, вырабатывает на своем выходе

сигнал, пропорциональный среднему значению тока, протекающему через тиристорный прерыватель.

Обмотка управления датчика напряжения ДНЯ, построенного на базе трансформатора постоянного напряжения, подключена через резисторы $R2$ и $R3$ параллельно главным тиристорам соответственно первой и второй фаз. Среднее напряжение на главных тиристорах при пуске и торможении меняется в зависимости от коэффициента заполнения регулятора λ по линейному закону

$$U_{cp} = U_{cf}(1 - \lambda_0 - \lambda_p),$$

где λ_p , λ_0 — регулируемый и нерегулируемый коэффициенты заполнения тиристорного регулятора напряжения;

U_{cf} — напряжение, равное среднему напряжению на входном конденсаторе фильтра C_f .

Таким образом, сигнал на входе датчика ДНЯ при пуске будет равен разности напряжения источника питания и напряжения на тяговых двигателях, а при торможении на вход ДНЯ будет подаваться сигнал, равный среднему напряжению на двигателях. Выходной сигнал с датчика ДНЯ подается в блок управления и предназначается для ограничения напряжения на тяговых двигателях при торможении с высоких скоростей.

Сигналы с выходов датчиков ДТ1, ДТ2 подаются в схему управления тиристорного регулятора и используются для регулирования постоянства токов в двигателях при пуске и торможении. Сигнал с выхода датчика ДТ3 поступает в блок управления и меняет частоту регулирования пропорционально коэффициенту заполнения тиристорного регулятора напряжения.

Из зависимости частоты регулирования от коэффициента заполнения (рис. 119) видно, что в начале пуска (торможения) при значениях λ , близких к λ_0 , частота равна ~ 200 Гц, а по мере увеличения λ частота возрастает и при $\lambda = 0,25$ достигает 400 Гц. После насыщения датчика ДТ3 частота остается практически постоянной до конца пуска (торможения). Такое снижение частоты в начальной стадии уменьшает начальное ускорение и обеспечивает плавность трогания.

В режиме пуска уровень напряжения в контактной сети контролируется с помощью реле напряжения РН. Если напряжение в контактной сети становится ниже 350 В, реле РН выключается, запрещая задание уставки тока, и пуск осуществляется только при минимальном напряжении на тяговых двигателях.

На входе силовой схемы установлен разрядник ВР, защищающий электрооборудование вагона от перенапряжений на токоприемнике.

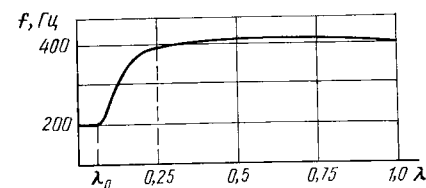


Рис. 119. Зависимость частоты НЗГ от коэффициента заполнения регулятора

При пуске тяговые двигатели получают питание от контактной сети через тиристорный регулятор, который посредством периодического включения и выключения коммутирующих элементов может изменять среднее напряжение на двигателях (тиристоры $T1$, $T2$), а также регулировать возбуждение тягового двигателя (тиристоры $T7$, $T8$).

В начале пуска периодическое включение вспомогательных тириستоров $T3$, $T5$ и $T4$, $T6$ обеспечивает подведение минимального напряжения к тяговым двигателям. Одновременно с этим в начале пуска периодически шунтируются обмотки возбуждения двигателей в период паузы импульсов напряжения реостатами R_{01} , R_{02} , тем самым ослабляется возбуждение тягового двигателя и уменьшается начальная тяговая сила, обеспечивая плавное трогание вагона с места.

Включаются и выключаются коммутирующие элементы тиристорного регулятора одной фазы со сдвигом на 180° относительно моментов включения и выключения соответствующих коммутирующих элементов второй фазы. Вследствие этого частота, с которой к входному фильтру L_Φ , C_Φ подключаются нагрузки, удваивается по сравнению с частотой коммутации полупроводниковых элементов каждой фазы в отдельности.

При пуске включены контакторы $KП1$, $KП2$ и $КБ$, а реверсор находится в одном из положений, соответствующих выбранному направлению движения вагона «Вперед» или «Назад». При пуске вагона в направлении «Вперед» все контакты реверсора B замкнуты, а контакты H разомкнуты.

Главный тиристор первой фазы $T1$ при включении обеспечивает протекание тока от токоприемника $ТКП$, через L_Φ , выключатель $AB1$, контакты контакторов $KП1$, $KП2$, обмотку $ДТ1$, выключатель $AB3$, обмотку 1 трансформатора связи $Д\Phi$, контакты $B1$, тяговые двигатели $M1$, $M3$, контакты $B3$, обмотки возбуждения $C1—CC1$, $CC3—C3$, шунтированные резистором $R_{ш1}$, тиристор $T1$, перемангничивающую обмотку трансформатора тока $ТТ1$, дроссель насыщения $ДН1$, обмотку управления датчика тока $ДТ3$, контакты контактора $КБ$ к минусу источника питания. Аналогичный контур тока возникает во второй фазе при включении тиристора $T2$.

После выключения тиристора $T1$ ток источника питания вследствие энергии, запасенной в суммарной индуктивности контактной сети и фильтра (L_Φ), продолжает протекать в том же направлении, замыкаясь через конденсатор фильтра C_Φ . В этот же период ток двигателей $M1$, $M3$ вследствие энергии, запасенной в суммарной индуктивности нагрузки первой фазы, продолжает протекать в том же направлении, замыкаясь через диод $Д1$.

При включении и выключении тиристора $T2$ образуется аналогичный контур тока через тяговые двигатели $M2$, $M4$ второй фазы.

По мере разгона вагона возбуждение тягового двигателя постепенно (в течение $0,3—0,5$ с) усиливается от $\alpha=0,67$ до $\alpha=0,96$. Дальнейший пуск до перехода на автоматическую характеристику полного возбуждения происходит практически при полном возбуж-

дении. После выхода на автоматическую характеристику полного возбуждения, если водитель установил контроллер управления в положение $X4$, начинают периодически включаться тиристоры регулятора возбуждения $T7$, $T8$ и возбуждение тяговых двигателей по мере разгона трамвайного вагона постепенно уменьшается до $\alpha=0,3$. При этом средний ток в якорях двигателей поддерживается постоянным в соответствии с уставкой, заданной в положении $X4$ контроллера управления. После выхода на автоматическую характеристику максимально ослабленного возбуждения тиристоры $T1$, $T2$, $T7$, $T8$ остаются включенными и двигатели работают при полном напряжении и максимальном ослаблении возбуждения.

Если же водитель совершает пуск вагона на положениях $X1—X3$ контроллера управления, то после выхода на автоматическую характеристику полного возбуждения тиристоры $T1$ и $T2$ остаются включенными, а тиристоры $T7$, $T8$ выключенными и двигатели продолжают работать при полном напряжении на автоматической характеристике полного возбуждения. После возврата контроллера управления с одного из ходовых положений на нулевое положение сначала выключаются главные тиристоры, а затем контакторы $KП1$, $KП2$, $КБ$.

При движении вагона «Вперед» в режиме электрического торможения групповой переключатель (реверсор) поворачивается в положение «Назад». При этом разомкнутся контакты $B1—B4$ и замкнутся контакты $H1—H4$. Сборка тормозной схемы завершается включением тормозного контактора $КТ$. Контакторы $KП1$, $KП2$ и $КБ$ в режиме тормоза разомкнуты.

В начале торможения включается главный тиристор второй фазы $T2$ и ток двигателей $M2$, $M4$ под действием суммарной остаточной э. д. с. замыкается через контакты $H4$, обмотки возбуждения $C2—CC2$, $CC4—C4$, тиристор $T2$, обмотку перемангничивания трансформатора тока $ТТ2$, дроссель насыщения $ДН2$, обмотку управления датчика тока $ДТ3$, контакты $КТ$, обмотку управления датчика тока $ДТ2$, выключатель $AB2$, обмотку 2 трансформатора связи $Д\Phi$, контакты $H2$. Аналогичный контур образуется для тока другой группы двигателей $M1$, $M3$.

В режиме рекуперативного торможения после выключения тириستоров $T1$ и $T2$ (в период паузы) токи тяговых двигателей сохраняют свои направления, замыкаясь по соответствующим контурам: I фаза — $H3$, R_{01} , $Д1$, $L1$, $AB1$, L_Φ , $ТКП$, потребитель в контактной сети, R_Φ , $КТ$, $ДТ1$, $AB3$, $Д\Phi$, $H1$; II фаза — $H4$, R_{02} , $Д2$, $L2$, $AB1$, L_Φ , $ТКП$, потребитель в контактной сети, R_Φ , $КТ$, $ДТ2$, $AB2$, $Д\Phi$, $H2$.

Одновременно в период паузы заряжается конденсатор фильтра C_Φ , который разряжается на нагрузку потребителя в контактной сети в период, когда проводят ток главные тиристоры $T1$, $T2$.

В режиме реостатного торможения на период паузы включаются тиристоры соответственно $T9$ и $T10$ и токи тяговых двигателей замыкаются уже не по диодам $Д1$, $Д2$ через контактную сеть, а через соответствующие тормозные реостаты $RT1$, $RT2$ и R_Φ .

После самовозбуждения тяговых двигателей, когда ток в них нарастает до заданного значения, главные тиристоры начинают периодически включаться и выключаться, регулируя среднее напряжение на двигателях и тем самым поддерживая средний заданный тормозной ток.

При торможении тиристорный регулятор напряжения регулирует одновременно напряжение и возбуждение тягового двигателя (см. рис. 101). Причем с увеличением коэффициента заполнения λ ток возбуждения довольно быстро увеличивается и при $\lambda = 0,15 \div 0,2$ двигатели имеют полное возбуждение ($\alpha \approx 1$).

Наряду с регулированием возбуждения двигателя для расширения диапазона эффективного торможения как при рекуперативном, так и при реостатном торможении вводят балластный резистор R_b , благодаря которому при рекуперативном торможении напряжение на тяговых двигателях может быть существенно выше (на 300 В) напряжения в контактной сети. По мере снижения скорости увеличивается коэффициент заполнения тиристорного регулятора напряжения, а ток рекуперации и потери энергии в балластном резисторе R_b уменьшаются.

В конце электрического торможения главные тиристоры $T1$, $T2$ остаются замкнутыми и тяговые двигатели продолжают тормозить, работая на реостатной характеристике, соответствующей сопротивлению r_d . Начиная с этого момента, ток в двигателях уже не может поддерживаться в заданных пределах и эффективность электрического тормоза снижается. Это происходит при скорости вагона 3–5 км/ч.

Для сокращения суммарного тормозного пути после снижения эффективности электрического тормоза с помощью реле замещения $P3$ включается механическое торможение, и вагон дотормаживается до полной остановки. Пусковые и тормозные характеристики вагона показаны на рис. 120.

На вагоне имеется вспомогательное оборудование: мотор-вентилятор $МВ$ и мотор-компрессор $МК$, включаемые соответственно $КВ$ и $КК$ через балластные резисторы R_k и R_b ; нагревательные элементы салона, кабины и лобового стекла, подключаемые соответственно контакторами $КО1$, $КО2$ и выключателями $ВВЦ1$ и $ВВЦ2$; статический преобразователь напряжения $СПН$, который включается через токовое реле $P2$ при замыкании контактора $P2$. Защита высоковольтных вспомогательных цепей осуществляется плавкими предохранителями $Пр1—Пр5$.

Тиристорный регулятор представляет собой двухтактный преобразователь напряжения с общим узлом коммутации и включает в себя 10 тиристорных и 6 диодных элементов, коммутирующий конденсатор C_k , разрядные цепи $L3$, $D3$ и $L4$, $D4$ (см. рис. 118), которые образуют дополнительные контуры для разряда коммутирующего конденсатора в процессе запаривания главных тиристорov, катушки индуктивности $L1$, $L2$ для дополнительного заряда коммутирующего конденсатора пропорционально току нагрузки.

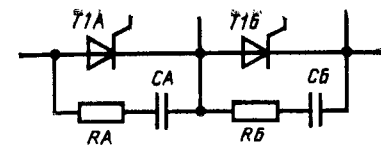
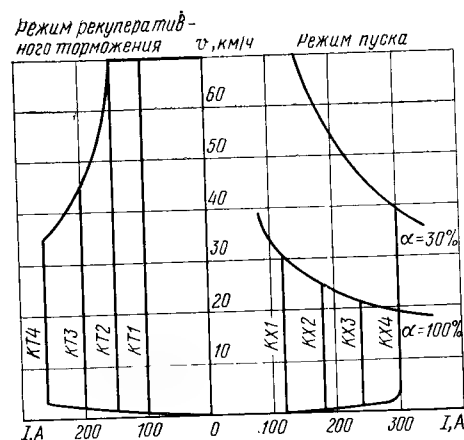


Рис. 121. Схема включения RC-цепей

Рис. 120. Пускотормозные характеристики вагона РВЗ-7

Защита силовых тиристорov по скорости нарастания тока (di/dt) осуществляется с помощью дросселей насыщения $ДН1—ДН6$. Защита тиристорov $T9$, $T10$ по di/dt осуществляется за счет собственной индуктивности реостатов $R_{т1}$, $R_{т2}$.

Для снижения коммутационных перенапряжений на полупроводниковых приборах параллельно каждому из них установлены защитные RC-цепи (на рис. 118 не показаны). Принципиальная схема включения защитных RC-цепей приведена на рис. 121. RC-цепи для всех полупроводников имеют параметры $R=30$ Ом (резистор ПЭВ-25-30), $C=1,0$ мкФ (конденсатор ОМБГ-2-1000-1).

Каждый из тиристорov $T1—T6$ и диодов $D1$, $D2$ состоит из двух последовательно включенных приборов (например, $T1A$ и $T1B$, $T2A$ и $T2B$ и т. д.). В качестве главных тиристорov $T1$, $T2$ используют тиристоры ТЛ250-10. Остальные тиристоры $T3—T10$ типа ТЛ200-9. Диоды $D1—D6$ типа ВЛ200-13.

Трансформаторы тока $ТТ1$, $ТТ2$ служат для контроля процесса перезаряда C_k . Они имеют по три обмотки, одна из которых, включенная в цепь вспомогательных тиристорov, является управляющей вторая, включенная в цепь главного тиристора, — перемагничивающей и третья, подающая сигнал в электронный блок управления, — выходной.

Управляющие импульсы на силовые тиристоры поступают от трансформаторных модулей $ТМ$, схема соединения которых приведена на рис. 122. Каждый трансформаторный модуль состоит из трансформатора $Тр$, имеющего пять обмоток. На входную обмотку 1 поступают импульсы определенной амплитуды и длительности из электронного блока управления. Обмотки 2 и 3 являются выходными. С них поступают управляющие импульсы на соответствующий тиристор регулятора. В цепи обмоток 2 и 3 включены балластные $R1$, $R3$ и шунтирующие $R2$, $R4$ резисторы, а также диоды $D1$ и $D2$. Обмотка 4 трансформатора служит для подключения контрольных приборов, а обмотка 5 — для перемагничивания

трансформатора. Всего в силовом блоке находится 8 идентичных трансформаторных модулей.

Для включения тиристоров $T9$ — $T10$ реостатного торможения предусмотрен узел высоковольтной защиты, который имеет две ступени. Одна из них срабатывает при напряжении в контактной сети 720—750 В. Вторая ступень срабатывает при напряжении на конденсаторе C_{Φ} , равном 1200 В.

Схема высоковольтной защиты приведена на рис. 123, где штрих-пунктирной линией обведены элементы схемы, расположенные на отдельной панели высоковольтной защиты.

Первая ступень высоковольтной защиты включает в себя два логических элемента: релейный $\mathcal{E}1$ и усилительный $\mathcal{E}2$. Они управляются транзистором $T1$, вход которого подключен через резисторы $R1$, $R3$ и диод $D1$ к напряжению контактной сети. Питание логических элементов $\mathcal{E}1$, $\mathcal{E}2$ (соответственно +6 В и -12 В), а также транзистора $T1$ при торможении осуществляется от аккумуляторной батареи вагона и стабилизируется опорными диодами $D2$, $D5$.

Вторая ступень высоковольтной защиты включает в себя ограничитель напряжения $D8$ (типа КСОН-2-10), входной тиристор $T3$, выходной тиристор $T2$, разделительный трансформатор $ИТ$ и другие вспомогательные элементы. Трансформатор $ИТ$ имеет три обмотки: входную 1, выходную 2 и перематгивающую 3. Питание к выходному тиристор $T2$ подводится при торможении от аккумуляторной батареи.

При рекуперативном торможении, когда происходит полный или частичный отказ потребителя, повышается напряжение на токоприемнике данного вагона. По достижении напряжения 720 В

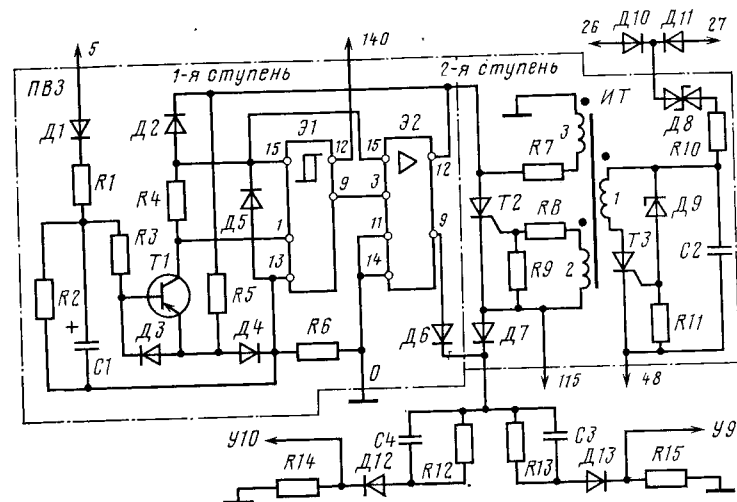


Рис. 123. Схема защиты ТИР от высокого напряжения

включается транзистор $T1$ первой ступени высоковольтной защиты по цепи: провод 5, $D1$, $R1$, R , база-эмиттер $T1$, $D4$, $R6$, 0. После включения транзистора $T1$ срабатывает полупроводниковый релейный логический элемент $\mathcal{E}1$ (типа Т-202), выходной сигнал которого с выхода 9 поступает на вход 3 полупроводникового усилителя $\mathcal{E}2$. С выхода 9 усилительного элемента $\mathcal{E}2$ (типа Т-404) через диод $D6$, резисторы $R12$, $R13$, диоды $D12$, $D13$ по проводам $У9$, $У10$ сигнал поступает на входы тормозных тиристоров $T9$, $T10$ (см. рис. 118). Последние включают тормозные реостаты $R_{т1}$, $R_{т2}$, что приводит к прекращению роста напряжения на токоприемнике.

Если напряжение на токоприемнике станет вновь ниже 720 В, то транзистор $T1$ первой ступени высоковольтной защиты выключается и подача управляющего сигнала на входы тормозных тиристоров $T9$, $T10$ прекращается. Поэтому после очередного цикла выключения эти тиристоры останутся выключенными и произойдет переход на рекуперативное торможение. Таким образом 1-я ступень высоковольтной защиты управляет тормозными тиристорами $T9$, $T10$ в зависимости от напряжения на токоприемнике вагона.

Если в период рекуперации напряжение на входном фильтре C_{Φ} по каким-либо причинам (отказ 1-й ступени защиты, перенапряжение в контактной сети и т. д.) достигнет 1200 В, то по проводам 26, 27 через диоды $D10$, $D11$, ограничитель напряжения $D8$ заряжается конденсатор $C2$. При увеличении напряжения на конденсаторе $C2$ выше напряжения стабилизации опорного диода $D9$ ток, протекающий через $D8$ и $R10$, начнет протекать через диод $D9$ и управляющий электрод входного тиристора $T3$. В результате последний включается и конденсатор $C2$ разряжается на входную

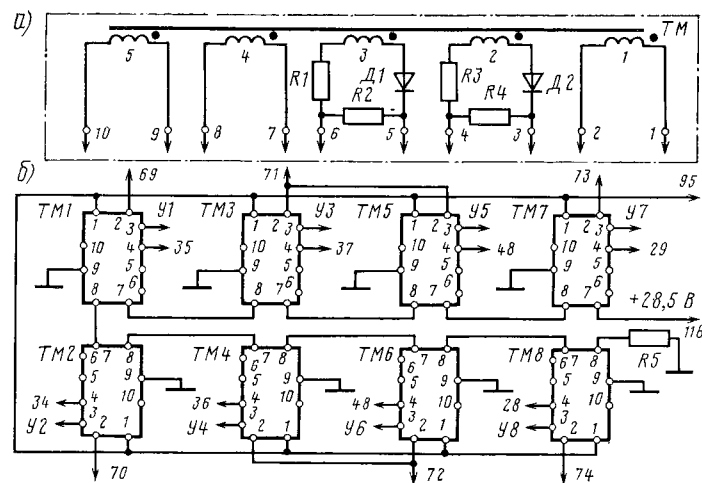


Рис. 122. Принципиальная схема (а) и схема соединений (б) трансформаторных модулей

обмотку 1 разделительного трансформатора ИТ. В этот момент на выходной обмотке 2 появляется импульс, который включает выходной тиристор Т2. Тиристор Т2, включившись, подает управляющий сигнал от аккумуляторной батареи через диод Д7, резисторы R12, R13, диоды Д12, Д13 на входы тормозных тиристов Т9, Т10, которые подключают тормозные реостаты R_{т1}, R_{т2} и обеспечивают переход на реостатное торможение.

В отличие от 1-й ступени высоковольтной защиты 2-я ступень после срабатывания сохраняет включающий сигнал на тормозных тиристорах Т9, Т10, даже если напряжение на входном фильтре станет ниже 200 В.

Схема управления трамвайного вагона РВ3-7 представлена на рис. 124. При подготовке вагона к движению необходимо включить разъединитель батарей В8, поднять токоприемник ТКП, нажать

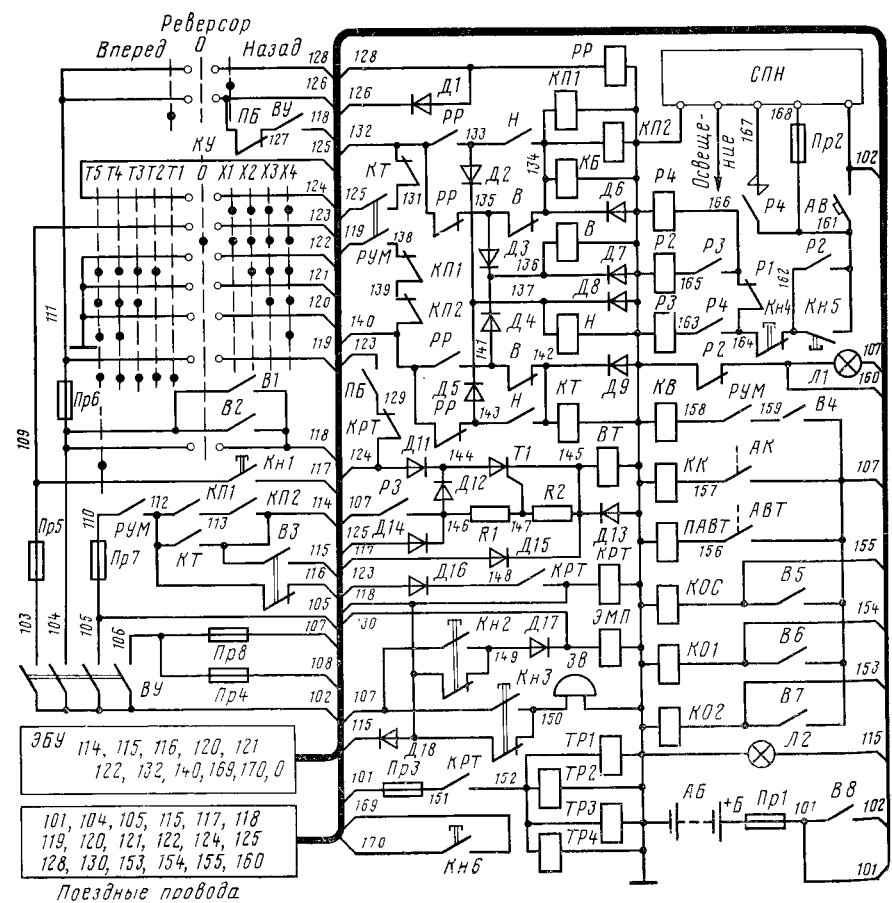


Рис. 124. Принципиальная схема управления трамвайного вагона РВ3-7

кнопку включения статического преобразователя напряжения (СПН) КН5.

При этом от аккумуляторной батареи АБ через плавкий предохранитель Пр1, разъединитель батарей В8, автоматический выключатель АВ и плавкий предохранитель Пр2 получает питание схема управления статического преобразователя (СПН). Нажав кнопку КН5, водитель включает статический преобразователь напряжения, запуск которого осуществляется последовательным включением реле Р4, Р3 и Р2 через размыкающиеся контакты кнопки КН4 и реле защиты цепи высокого напряжения Р1. После включения реле Р2 выключается сигнальная лампа Л1 и шунтируется кнопка КН5, последняя может быть отпущена (разомкнута). Затем включают выключатель управления ВУ, поднимается токоприемник, включают автоматические выключатели АВ1—АВ3, нажимают педаль безопасности ПБ и устанавливают рукоятку реверсивного вала контроллера управления в положение «Вперед» или «Назад» в зависимости от выбранного направления движения. Вагон готов к движению. С включением ВУ через предохранитель Пр7, контакты разъединителя цепей управления РУМ и выключателя аварийного пуска В3 по проводу 116 подается питание в электронный блок управления.

Если рукоятка реверсивного вала контроллера управления КУ установлена в положение «Вперед», а главный вал контроллера управления установлен в положение Х1, получит питание катушка вентили В группового реверсора по цепи: провод 109, контакты КУ (0—Х4), ПБ, КР1, провод 124, контакт КУ (Х1—Х4), провод 125, контакты РУМ, КТ, РР, диод Д3, катушка вентили реверсора В, О.

В результате реверсор повернется в положение «Вперед» (если находился в положении «Назад») и, замкнув свой замыкающий блок-контакт В в проводах 134—135, включит катушки ходовых контакторов КП1, КП2 и КБ. Этим заканчивается сборка силовой схемы в ходовом режиме.

Одновременно с замыканием кулачкового контактора КУ в проводах 124, 125 через Д14, R1, вход тиристора Т1 (шунтированный резистором R2) получает питание катушка ВТ вентили механического торможения. В результате происходит оттормаживание вагона.

При включении контакторов КП1, КП2 замыкаются блок-контакты КП1, КП2 в проводах 112, 114, через которые подается питание на управляющие реле в электронном блоке управления. Этим заканчивается сборка схемы в положении Х1 и вагон разгоняется при токе в тяговом двигателе, соответствующем уставке первого ходового положения.

При повороте рукоятки контроллера управления КУ в положение Х2—Х4 через соответствующие кулачковые контакторы КУ в проводах 122, 121 и 120 включаются реле в электронном блоке управления, увеличивая уставку тока в тяговых двигателях.

Для перехода на выбег возвращают контроллер управления в нулевое положение. При этом теряет питание провод 125 и контакторы КП1, КП2 и КБ выключаются, а катушка вентиля ВТ продолжает получать питание по цепи: провод 123, ПБ, КРТ, Д11, Т1, катушка ВТ, О, обеспечивая расторможенное состояние вагона.

Если перевести КУ в первое тормозное положение, то по цепи: КУ (Т1—Т5), РУМ, КП1, КП2, РР, Д5 получает питание катушка Н вентиля реверсора, который поворачивается в положение «Назад», реверсируя обмотки якорей тяговых двигателей для режима торможения.

После поворота реверсора в положение «Назад» и замыкания его блок-контакта в проводах 142, 143 включается контактор КТ, завершая сборку тормозной схемы.

Одновременно с размыканием кулачкового контактора в проводах 109, 123 теряет питание катушка вентиля ВТ и выпускается воздух из тормозных цилиндров, подготавливая механический тормоз.

Однако при скорости начала торможения свыше 5—7 км/ч ток в тяговых двигателях появляется раньше, чем успеет наложиться механический тормоз. С появлением тока в тяговых двигателях начинает работать тиристорный регулятор и появляется ток в балластном резисторе РБ, параллельно которому включена катушка реле замещения РЗ. В результате реле РЗ срабатывает и своим замыкающим контактом в проводах 107, 146 через резистор R1 снова подает включающий сигнал на вход тиристора Т1, который через диод Д12 обеспечивает питание катушки вентиля ВТ, и наложение механического тормоза предотвращается.

В режиме торможения на управляющие реле электронного блока управления подается питание по проводам 114, 140.

Если ток в тяговых двигателях не появился в начале торможения (при скорости меньше 5—7 км/ч), то реле замещения не срабатывает и тиристор Т1 не включается. В этом случае автоматически накладывается замещающий механический тормоз.

Перевод контроллера управления на следующие тормозные положения Т2, Т3, Т4 изменяет только уставку тока в тяговых двигателях с помощью соответствующих кулачковых контакторов КУ в проводах 120, 121, 122.

В конце электрического торможения (рекуперативного или реостатного), когда тяговые двигатели закорачиваются главными тиристорами регулятора, ток в них спадает и тормозной эффект уменьшается. В этот момент выключается реле замещения РЗ и своими контактами в проводах 107, 146 прерывает питание катушки вентиля ВТ, что обеспечивает наложение механического тормоза и вагон фиксируется.

После дотормаживания вагона механическим тормозом при возврате КУ в нулевое положение вагон остается заторможенным и для его оттормаживания необходимо либо установить КУ в одно из ходовых положений, либо нажать кнопку оттормаживания КН1.

Если в процессе служебного торможения необходимо перейти на выбег, возвращают КУ в нулевое положение. При этом вначале получает питание провод 123 через кулачковый контакторный элемент КУ, замкнутый на нулевом положении, а затем разбирается тормозная схема и выключается реле замещения РЗ. Поэтому тиристор Т1 остается включенным по цепи: провод 123, ПБ, КРТ, Д11 и катушка вентиля ВТ будет продолжать получать питание и удерживать вагон в расторможенном состоянии.

Для осуществления экстренного торможения необходимо установить КУ в положение Т5. При этом на служебный электрический тормоз накладывается рельсовый тормоз, так как через кулачковый контактор КУ в проводах 104, 118 получает питание катушка контактора рельсового тормоза КРТ. Контактор КРТ от провода 101 через плавкий предохранитель ПрЗ включает катушки рельсовых тормозов ТР1—ТР4. Одновременно с включением контактора КРТ провод 118 подает питание через размыкающий контакт кнопки подачи песка КН2 и диод Д17 катушке вентиля песочницы ЭМП, а через размыкающий контакт кнопки звонка КН3 — катушке звонка Зв. Следовательно, при срабатывании рельсовых тормозов автоматически обеспечивается подача песка на рельсы и подача звукового сигнала.

Для выключения рельсового тормоза, если последний был включен при служебном торможении, необходимо вернуть КУ с 5-й позиции на одну из предыдущих (Т1—Т4).

Для движения вагона назад необходимо установить реверсивную рукоятку контроллера управления в положение «Назад». При этом по проводу 128 включается реверсивное реле РР и своими контактами подключает катушку реверсора Н к ходовому проводу 125, а катушку реверсора В к тормозному проводу 119. В результате при пуске реверсор будет находиться в положении «Назад», изменяя направление вращения двигателя, при торможении — в положении «Вперед». В остальном порядок работы схемы вагона при движении назад не изменяется.

Если во время пуска водитель отпустил педаль безопасности, то разомкнется контакт ПБ в проводах 123, 129 и замкнется контакт ПБ в проводах 126, 127. При этом потеря питания проводом 129 приводит к выключению контакторов КП1, КП2, КБ и снятию напряжения с катушки вентиля ВТ. В результате разбирается ходовая схема и накладывается механический тормоз.

Замыкание контакта ПБ в проводах 126, 127 обеспечивает подачу напряжения через контакт ВУ, провод 118 на катушку контактора рельсового тормоза КРТ и далее на электромагнитный вентиль песочниц и звонок.

После восстановления нажатия педали безопасности схема сохраняет режим аварийного торможения, даже если вернуть КУ в нулевое положение, так как замыкающий блок-контакт контактора КРТ в проводах 118, 148 от провода 123 через Д16 сохраняет питание катушки КРТ независимо от провода 118, а размыкающий

блок-контакт контактора *KPT* в проводах *124*, *129* обесточит ходовой провод *125* и катушку тормозного вентиля *BT*.

Для снятия аварийного режима торможения необходимо нажать на педаль безопасности и на короткое время установить *KY* в тормозное положение.

Аналогично схема переходит на аварийный тормозной режим, если будет включен стоп-кран *B1* или *B2* в салоне вагона. При этом по проводу *118* включается контактор рельсового тормоза, вентиль песочниц и звонок, а затем разбирается ходовая схема и накладывается механический тормоз. Для прекращения аварийного режима необходимо после выключения стоп-крана на короткое время установить *KY* в тормозное положение.

Сброс педали безопасности или включение стоп-крана в режиме служебного торможения соответствует экстренному торможению на 5-м тормозном положении *KY*, которое прекращается путем восстановления положения *ПБ* или стоп-крана. Вагон при этом возвращается в режим служебного торможения.

Если во время пуска или торможения произойдет наложение механического тормоза, например, при разрыве тормозной магистрали, то через контакты автоматического выключателя торможения *ABT*, получит питание катушка релс-повторителя *ПАВТ*, которое снижает уставку тока.

В случае отказа электронного блока управления на вагоне предусмотрена аварийная работа при реостатном пуске. Этот режим является для вагона кратковременным и обязательно без нагрузки.

Для осуществления аварийного реостатного пуска включают выключатель «Аварийный пуск» *B3* и устанавливают контроллер управления в первое ходовое положение. Выключатель *B3* замыкающим контактом в проводах *112*, *116* отключает питание электронного блока, а замыкающим контактом *B3* после замыкания блок-контактов *КП1*, *КП2* в проводах *112*, *114* включает тормозные тиристоры *T9*, *T10* силового регулятора. В этом режиме вагон может развивать скорость не более 15—20 км/ч. В режиме аварийного реостатного пуска, как и при срабатывании 2-й ступени высоковольтной защиты, загорается сигнальная лампа *Л2*.

При работе вагона по системе многих единиц схемы управления ведущего и ведомого вагонов соединяются системой поездных проводов через специальное междувагонное соединение. По поездным проводам передаются команды управления вагона на второй вагон, на котором схема работает синхронно с головным вагоном. При этом на втором вагоне выключатель управления *BV* выключается.

В случае выхода из строя электрической схемы одного из вагонов водитель отключает цепи управления этого вагона разъединителем управления *РУМ*. В результате при управлении по поездным проводам ходовая и тормозная схемы отключенного вагона не собираются, хотя из его кабины может происходить управление другим вагоном.

50. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ВАГОНА РВЗ-7

Электронный блок управления (ЭБУ) предназначен для управления тиристорным регулятором по определенному алгоритму. Схема ЭБУ (рис. 125) включает в себя следующие основные узлы и устройства: высокочастотный задающий генератор *B3Г*, низкочастотный задающий генератор *НЗГ*, формирователь управляющих импульсов *ФУИ*, широтно-импульсный модулятор *ШИМ*, узел задания уставки тока *УЗУ*, узел ограничения напряжения на двигателях *УОН*, узел включения регулятора возбуждения тягового двигателя *УРВ*, распределитель импульсов *РИ*, блок реле управления *БР*, стабилизаторы напряжения.

Питание ЭБУ осуществляется от аккумуляторной батареи напряжением 28,5 В, которое подводится от провода *116*. Элементы ЭБУ размещены в четырех выдвижных кассетах и обозначение элементов в них начинается соответственно с первой, второй, третьей и четвертой сотни.

Высокочастотный задающий генератор представляет собой статический преобразователь постоянного напряжения аккумуляторной батареи в переменное напряжение прямоугольной формы с частотой 800—850 Гц. Переменное напряжение *B3Г*, снимаемое с обмоток трансформатора *Тр2*, используется для питания датчиков тока *ДТ1*, *ДТ2*, *ДТ3* (обмотки 5, 6, 10), датчика напряжения *ДН_я* (обмотка 7), узла задания уставки (обмотка 8), узла включения регулятора возбуждения (обмотка 9) и узла распределителя импульсов (обмотка 11).

Высокочастотный задающий генератор включает в себя транзисторы *T107*, *T108*, трансформатор *Тр2*, базовые резисторы *R114*, *R115* для ограничения базовых токов, цепочки запуска *R116*, *R117*, диоды, защищающие переход *Э—Б* от обратного напряжения, и другие вспомогательные элементы. На входе *B3Г* включен сглаживающий конденсатор *C104*.

При подаче постоянного напряжения по проводам *116*, 0 в *B3Г* поочередно включаются транзисторы *T107*, *T108*, что обеспечивает на всех выходных обмотках трансформатора *Тр2* переменное напряжение прямоугольной формы.

Низкочастотный задающий генератор преобразует сигнал, снимаемый с датчика тока тиристорного преобразователя *ДТ3*, в переменное напряжение прямоугольной формы, значение и частота которого пропорциональны напряжению на выходе датчика *ДТ3*.

Напряжение на выходе датчика *ДТ3* зависит от коэффициента заполнения тиристорного регулятора напряжения. Поэтому частота *НЗГ* также зависит от коэффициента заполнения. В процессе пуска и торможения частота *НЗГ* меняется от 200 до 400 Гц при номинальном напряжении низковольтного источника питания 28,5 В.

Низкочастотный задающий генератор по принципу действия аналогичен высокочастотному задающему генератору и питается

от выпрямительного моста *D108* через регулируемый резистор *R102*. С помощью резистора *R101* устанавливается минимальный предел частоты *HЗГ* — 200 Гц, а резистора *R102* — максимальный предел частоты 400 Гц.

Переменное напряжение *HЗГ* с выходных обмоток трансформатора *ТрЗ* используется для питания генераторов пилообразного напряжения (обмотки *10, 11*), базовых цепей транзисторов формирователей управляющих импульсов (обмотки *5—8*) и дросселя временной задержки *ДрЗ* (обмотка *9*).

Формирователь управляющих импульсов предназначен для формирования импульсов определенной амплитуды, длительности и частоты по заданному алгоритму. Эти импульсы с помощью импульсных трансформаторов *ИТЗ1, ИТЗ2, ИТГ1, ИТГ2, ИТП1, ИТП2, ИТС1* передаются в силовой тиристорный блок на соответствующие трансформаторные модули и далее на силовые тиристоры. Каждый импульс формируется после включения соответствующего тиристора формирователя *T301—T305*. Исключение составляют импульсы трансформаторов *ИТП1, ИТП2*, каждый из которых формируется сразу после включения соответствующего транзистора *T105, T106*.

Формирователи импульсов включают в себя накопительные конденсаторы *C301—C306*, импульсные трансформаторы *ИТЗ1, ИТЗ2, ИТГ1, ИТГ2, ИТП1, ИТП2, ИТС1*, синхронизирующие транзисторы *T105, T106*, управляемые *T301—T305* и неуправляемые *D305, D308* диоды, развязывающие диоды *D301—D312*.

Базовые обмотки *5—8* генератора *HЗГ* включены таким образом, что в один полупериод они открывают транзисторы *T104, T105*, а в другой — *T103, T106*.

В полупериод, когда открыт транзистор *T103*, от провода *116* через дроссель *Др*, транзистор *T103* и соответствующий развязывающий диод (*D301, D302, D306*) заряжаются накопительные конденсаторы *C301—C303*. В следующий полупериод, когда будет открыт транзистор *T104*, аналогично заряжаются конденсаторы *C304—C306*.

В момент изменения полярности напряжения на обмотках *ТрЗ, HЗГ*, когда, например закрываются транзисторы *T103, T106* и открываются транзисторы *T104, T105*, конденсатор *C303* разряжается на первичную обмотку импульсного трансформатора *ИТП1* через транзистор *T105*. Этот разряд длится около 100 мкс, после чего трансформатор *ИТП1* насыщается. При разряде конденсатора на первичную обмотку импульсного трансформатора на всех его вторичных обмотках формируются импульсы длительностью 100 мкс.

В этот же полупериод разряжаются конденсаторы *C301* и *C302*, но после включения соответствующих тиристоров *T301, T302*. При разряде конденсаторов *C301, C302* на выходных обмотках соответствующих импульсных трансформаторов *ИТГ2, ИТЗ1* формируются импульсы. Аналогично формируются импульсы на выходных обмотках импульсных трансформаторов *ИТП2, ИТЗ2, ИТГ1, ИТС1*, но в последующий период, когда будет открыт транзистор *T106*.

Конденсатор *C305* разряжается и формирует импульс в момент включения тиристора *T303*, а конденсатор *C306* — в момент включения тиристора *T304* или *T305*.

Тиристор *T304* может включаться в любой момент данного полупериода (в том числе оставаться выключенным), в то время как тиристор *T305* включается только в определенный момент данного полупериода (через ~2400 мкс после начала полупериода при частоте 400 Гц). Поэтому в указанный полупериод всегда разряжается конденсатор *C306*, формируя импульс на трансформаторе *ИТГ1* либо *ИТС1*.

Включение тиристора *T305* с задержкой относительно рабочего полупериода обеспечивает дроссель задержки *Дрз* параллельно нагрузочному резистору *R225* которого через диоды *D313, D314* и резистор *R307* включен вход тиристора *T305*.

Питание рабочей обмотки *1* дросселя *Дрз* осуществляется от обмотки *9* трансформатора *ТрЗ*. Настройка длительности задержки регулируется резистором *R228* в цепи управляющей обмотки *2* дросселя *Дрз*. Тиристор *T305* включается в момент насыщения дросселя.

Перемагничивание всех импульсных трансформаторов формирователей осуществляется с помощью обмоток перемагничивания *б*, которые соединены между собой последовательно и через резистор *R301* подключены к источнику питания.

Моменты включения тиристорov *T301—T304* зависят от режима работы транзисторов выходных каскадов усилителей *Э1* и *Э5*.

Широтно-импульсный модулятор предназначен для преобразования сигнала рассогласования (разности заданным значением тока и тока в тяговых двигателях) в дискретный сигнал, длительность (или пауза) которого пропорциональна значению рассогласования. **ШИМ** состоит из усилителя рассогласования, генератора пилообразного напряжения, компаратора и выходного усилителя. Всего в ЭБУ два широтно-импульсных модулятора, каждый из которых управляет своей фазой тиристорного регулятора.

Усилители рассогласования, компараторы и выходные усилители выполнены на стандартных полупроводниковых элементах *Э1—Э5* серии «Логика Т». Питание указанных элементов — 12 В, +6 В и 0 подводится от стабилизатора, выполненного на стабилизаторах *D211, D212* и транзисторе *T201*.

Усилители рассогласования *Э3-1, Э3-2* представляют собой транзисторные усилители, включенные по схеме с коллекторно-эмиттерной нагрузкой. Эмиттерной нагрузкой являются резисторы *R207, R229*.

На вход усилителей рассогласования подается разность двух сигналов: сигнала, пропорционального уставке тока, и сигнала, пропорционального току в тяговых двигателях. Причем на входе усилителя *Э3-1* сигнал уставки сравнивается с сигналом тока двигателей *M1, M3*, а усилителя *Э3-2* — с сигналом тока двигателей *M2, M4*.

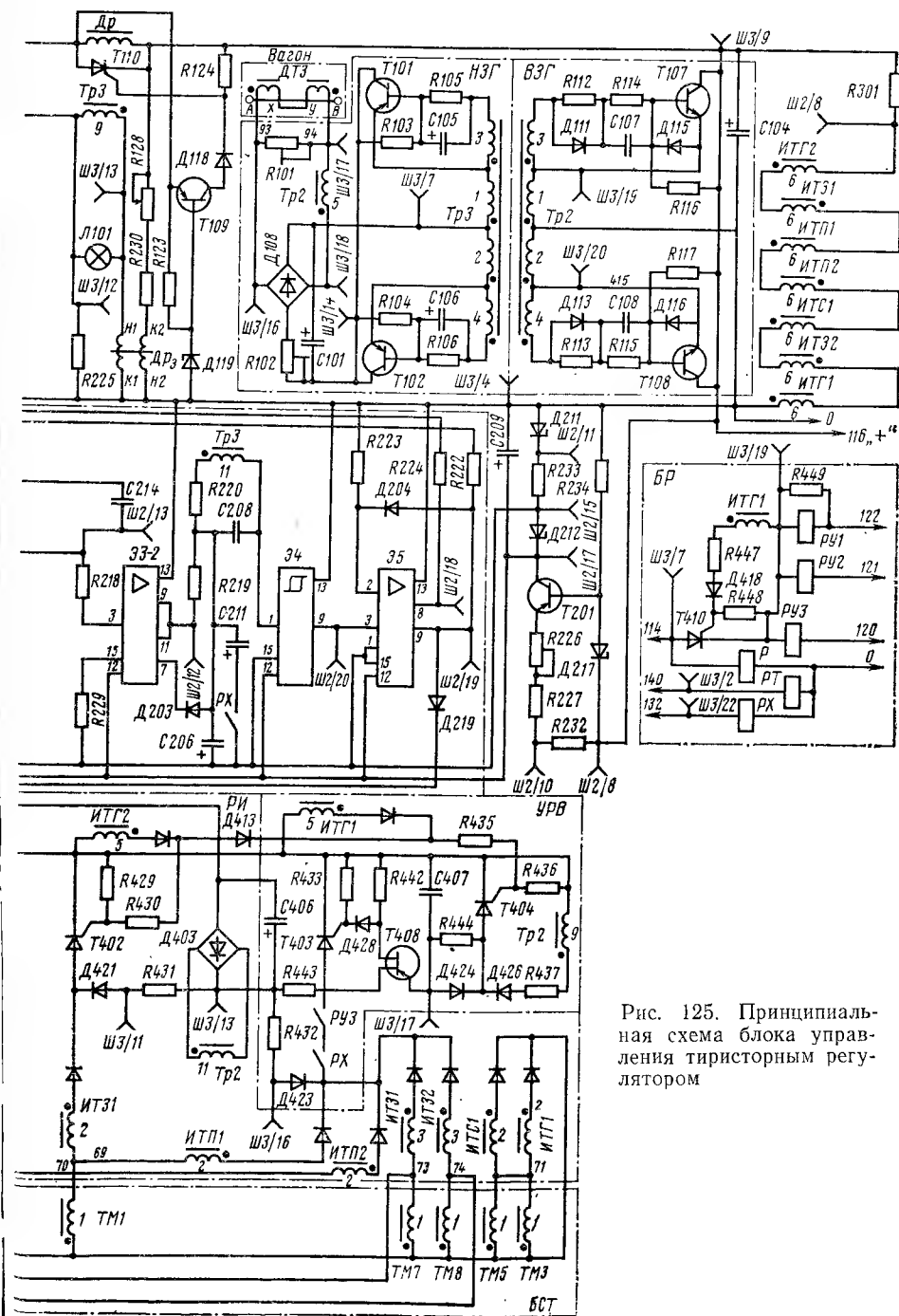
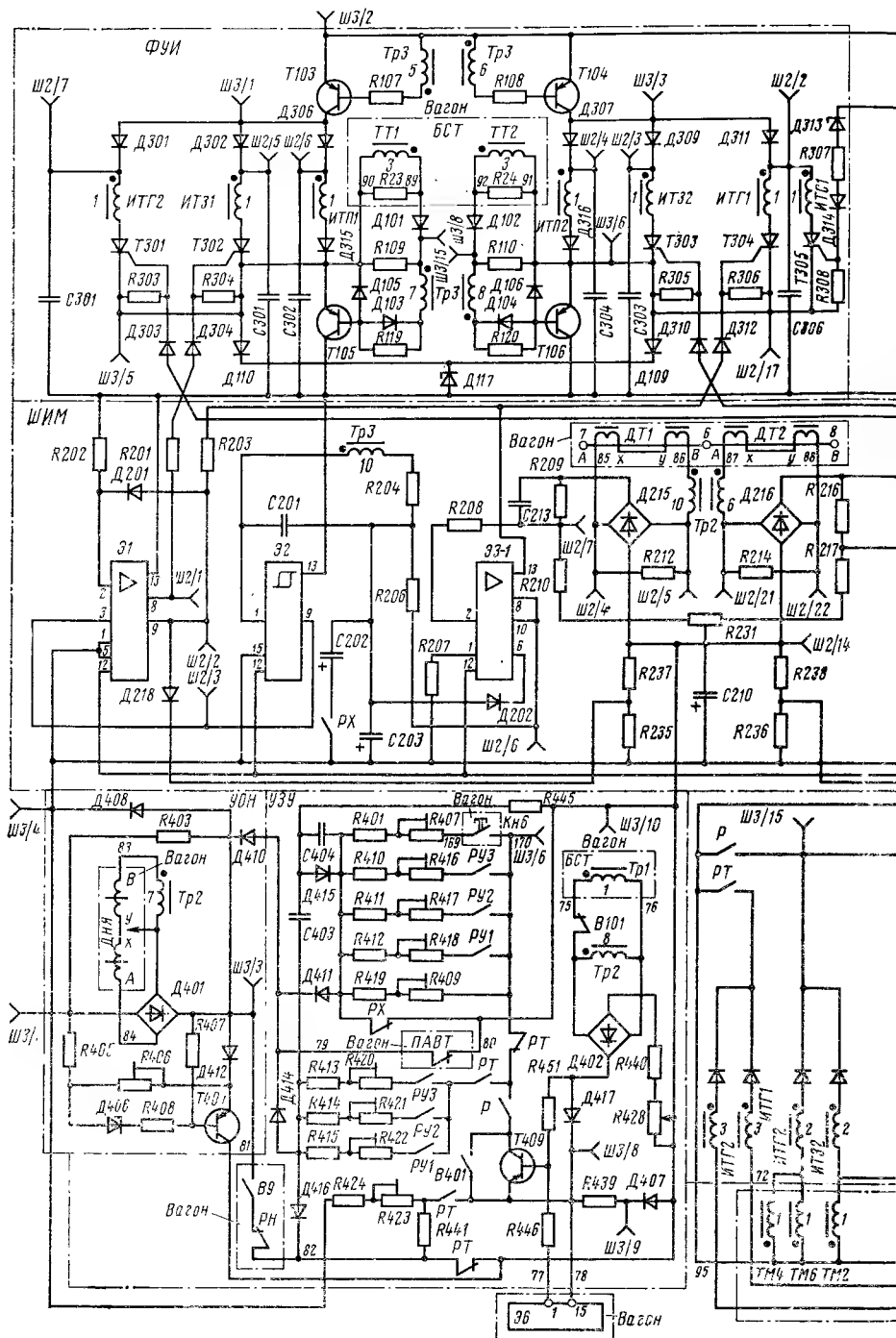


Рис. 125. Принципиальная схема блока управления тиристорным регулятором

Сигналы, пропорциональные токам в тяговых двигателях, снимаются с соответствующих делителей напряжения $R209$, $R210$, $R231$ и $R216$, $R217$, $R231$, которые совместно с резисторами $R212$, $R214$ образуют нагрузки для датчиков тока $ДТ1$, $ДТ2$. Обмотки управления этих датчиков включены в цепь тяговых двигателей соответственно $M1$, $M3$ и $M2$, $M4$. Резистор $R231$ служит для выравнивания характеристик датчиков $ДТ1$, $ДТ2$, разброс которых возникает при их изготовлении, а также из-за разброса параметров используемых резисторов в канале усилителей рассогласования. По левой части резистора $R231$ протекает ток датчика $ДТ1$, а по правой — $ДТ2$.

Сигнал, пропорциональный заданной уставке тока, поступает на усилители рассогласования с резисторов $R235$ — $R238$, ток в которых зависит от положения контроллера управления и регулируется водителем. Через диоды $Д218$, $Д219$ обеспечивается компенсация статизма в процессе регулирования.

При увеличении тока тяговых двигателей, например $M1$ и $M3$, увеличивается напряжение на резисторах $R210$, $R231$ (левой части). Если это напряжение превысит напряжение на резисторах $R235$ — $R238$, характеризующее заданную уставку, то транзистор усилителя рассогласования закроется.

Открывается указанный транзистор, когда, наоборот, напряжение на резисторах $R235$ — $R238$ станет выше напряжения на резисторах $R210$, $R231$.

Аналогично работает транзистор усилителя рассогласования $Э3-2$, но его состояние зависит от соотношения напряжений на резисторах $R235$ — $R238$ и резисторах $R217$, $R231$ (правой части).

К выходу транзисторов усилителей рассогласования $Э3-1$, $Э3-2$ через резисторы $R206$, $R219$ подключены конденсаторы соответственно $C202$, $C203$ и $C206$, $C211$, которые заряжаются через диоды $Д202$, $Д203$, если транзисторы соответствующих усилителей рассогласования закрыты, и разряжаются через резисторы $R206$, $R219$ при закрытом состоянии транзисторов.

Таким образом, степень открытого состояния транзисторов усилителей рассогласования зависит от соответствующих сигналов рассогласования и определяет среднее напряжение на конденсаторах $C202$, $C203$ и $C206$, $C211$.

Напряжение на конденсаторах $C202$, $C203$ ($C206$, $C211$) сравнивается с напряжением на конденсаторе $C201$ ($C208$). Разность напряжений подается на вход компаратора $Э2$ ($Э4$). Напряжение на конденсаторе $C201$ ($C208$) имеет форму равнобедренного треугольника с переменной полярностью. Это напряжение вырабатывает генератор пилообразного напряжения, включающий обмотку 10 (11) трансформатора $Тр3$ низкочастотного задающего генератора, резистор $R204$ ($R220$) и конденсатор $C201$ ($C208$). При смене полярности напряжения в обмотке трансформатора конденсатор перезаряжается током в одном направлении, в следующий полупериод — в другом. Причем обмотки 10 и 11 трансформатора $Тр3$ имеют разную полярность включения по отношению к входу своего

компаратора $Э2$ ($Э4$). Поэтому, когда конденсатор $C201$, перезаряжаясь, меняет свою полярность на «+», конденсатор $C208$ — на «—».

Амплитуда пилообразного напряжения при изменении частоты $НЗГ$ сохраняется практически неизменной, так как при выбранных параметрах RC в генераторе пилообразного напряжения $ГПН$ амплитуда треугольного напряжения пропорциональна напряжению на обмотке трансформатора и обратно пропорциональна его частоте. Поскольку частота и напряжение трансформатора $Тр3$ связаны законом $U/f = \text{const}$, то и амплитуда напряжения указанного генератора практически мало зависит от частоты $НЗГ$.

Так как разность напряжений генератора пилообразного напряжения и выхода узла сравнения подается на вход компаратора $Э2$ ($Э4$), то в интервале времени, когда напряжение на конденсаторах $C202$, $C203$ ($C206$, $C211$) будет выше напряжения на конденсаторе $C201$ ($C208$), напряжение на выходе компараторов $Э2$ ($Э4$) будет равно -12 В. При изменении знака указанной разности на выходе элементов $Э2$ ($Э4$) напряжение будет равно 0 . Компараторы представляют собой двухкаскадные транзисторные усилители с положительной обратной связью и выполняют роль полупроводникового реле с высоким коэффициентом возврата.

Таким образом на выходе компараторов появляется дискретный сигнал, коэффициент заполнения которого зависит от рассогласования сигналов задаваемого и измеряемого значений токов в тяговом двигателе, т. е. разность напряжений преобразуется во временной параметр по вертикальному принципу.

С выхода компаратора $Э2$ ($Э4$) сигнал поступает на вход усилительного элемента $Э1$ ($Э5$), который представляет собой каскадное включение двух транзисторов, так что один из указанных транзисторов всегда находится в инверсном (противоположном) состоянии по отношению к другому. Элементы $Э1$ ($Э5$) усиливают выходной сигнал компаратора до 125 мА, что достаточно для включения тириستоров формирователей импульсов.

Узел задания уставки тока служит для управления широтно-импульсным модулятором с помощью контроллера управления. Изменение уставки тока тягового двигателя осуществляется изменением напряжения на резисторах $R235$ — $R238$. Это напряжение подается с выпрямительного моста $Д402$ в зависимости от состояния контактов вспомогательных реле $РУ1$ — $РУ3$, $РТ$, $РХ$, $Р$. Так, на первом ходовом положении КУ сигнал уставки задается по цепи: «+» моста $Д402$, диод $Д417$, транзистор $Т409$, замыкающий контакт $Р$, размыкающий контакт $РТ$, резисторы $R409$, $R419$, диоды $Д411$, $Д410$, $Д408$, резисторы $R235$ — $R238$, $R428$, $R440$. «—» моста $Д402$. Питается диодный мост $Д402$ от обмотки 8 трансформатора $Тр2$.

На последующих ходовых положениях КУ напряжение на резисторах $R235$ — $R238$ увеличивается вследствие шунтирования резисторов $R409$, $R419$ соответствующими параллельными цепями при замыкании контактов реле уставок $РУ1$, $РУ2$, $РУ3$. Для плав-

ного изменения сигнала уставок предусмотрены конденсаторы *C403*, *C404*. По аналогичным цепям задаются сигналы уставок при торможении. Транзистор *T409*, включенный последовательно в цепь уставки, управляется от узла противобоксовочной защиты *Э6* и выключается при ее срабатывании, снижая уставку тока. Восстанавливается уставка после прекращения процесса боксования.

Узел ограничения напряжения на двигателях служит для защиты тяговых двигателей от превышения допустимого напряжения на них при торможении с высоких скоростей. *УОН* включает в себя транзистор *T407*, датчик напряжения двигателей *ДН_я*, нагрузочные резисторы *R403*, *R406*, *R405* и элементы базовой цепи транзистора *T407*: резистор *R408*, опорный диод *D406*.

В процессе торможения, если напряжение на последовательно соединенных двигателях превысит напряжение 850 В, напряжение на выходе выпрямительного моста *D401* увеличивается, открываются опорный диод *D406* и транзистор *T407*, который шунтирует резисторы *R235—R238*, снижая сигнал уставки тока. В результате ток в тяговых двигателях уменьшается и напряжение на них снижается. По мере снижения скорости вагона узел ограничения напряжения корректирует (увеличивает) уставку тока под контролем напряжения на двигателях. В этом режиме узел осуществляет стабилизацию напряжения на двигателях.

Узел включения регулятора возбуждения тягового двигателя предназначен для подачи управляющих импульсов на тиристоры регулятора возбуждения двигателя при определенных условиях, а именно: если контроллер водителя установлен в положение *X4* и только после выхода на автоматическую характеристику полного возбуждения. Момент выхода на указанную характеристику определяется по прекращению формирования импульсов на трансформаторе *ИТГ2*, *ИТГ1*. Узел включения регулятора возбуждения питается от обмоток 9, 11 трансформатора *Тр2*.

Постоянное напряжение с выхода выпрямительного моста *D403* и сглаженное конденсатором *C406* подводится через резистор *R443* к базам однопереходного транзистора *T408*. Напряжение конденсатора *C407* подводится к переходу эмиттер-база 1 того же транзистора.

Если напряжение на конденсаторе *C407* достигнет некоторого порогового значения, определяемого техническими данными транзистора и напряжением между базами *Б1—Б2*, открывается переход *Э—Б1* и конденсатор *C407* разряжается на резистор *R442*, параллельно которому через диод *D428* включен вход тиристора *T403*. В результате последний открывается и, если включены реле *РУЗ* и *РХ*, пропускает импульсы с обмоток 3 трансформаторов *ИТЗ1*, *ИТЗ2* на входные обмотки 1 трансформаторных модулей силового блока, включающих тиристоры регулятора возбуждения *T7*, *T8* (см. рис. 122).

Напряжение на конденсаторе *C407* определяется временем заряда его от обмотки 9 трансформатора *Тр2* через резисторы *R437*, *R444* и диод *D426*.

Постоянная времени заряда конденсатора составляет около 0,1 с. Это время значительно больше полупериода регулирования при частоте низкочастотного задающего генератора 200 Гц.

Поэтому во время работы тиристорного регулятора напряжения, когда на вход тиристора *T404* поступают импульсы с обмоток 5 трансформаторов *ИТГ1*, *ИТГ2* (через резистор *R435*), тиристор *T404* включается и не позволяет заряжаться конденсатору *C407*, шунтируя его через диод *D424*.

После выхода тягового двигателя на автоматическую характеристику полного возбуждения прекращают формироваться импульсы на трансформаторах *ИТГ1*, *ИТГ2* и тиристор *T404* остается выключенным после очередной смены полярности на обмотке 9 трансформатора *Тр2*. Начиная с этого момента, будет заряжаться конденсатор *C407* и через 0,1 с включается транзистор *T408* и тиристор *T403*, обеспечивая включение регулятора возбуждения. В дальнейшем тиристор *T403* удерживается по цепи «+» *D403*, *R432*, *D423*, *РХ*, *РУЗ*, *T403*, *Р*, «—» *D403* во включенном состоянии, даже при повторном включении тиристора *T404* импульсами с транзисторов *ИТГ1*, *ИТГ2*. Теперь запретить работу регулятора возбуждения можно, только разомкнув контакт *РУЗ* в цепи тиристора *T403*, вернув КУ из положения *X4* в положение *X1—X3*.

Распределитель импульсов предназначен для подачи управляющих импульсов с трансформаторов формирователей на трансформаторные модули силового блока по определенному алгоритму. Импульсы с обмоток 2 трансформаторов *ИТГ1*, *ИТС1* поступают на соответствующие трансформаторные модули силового тиристорного блока *БСТ* независимо от режима работы вагона, обеспечивая включение вспомогательных тиристоров первой фазы.

Импульсы обмоток 3 трансформаторов *ИТГ1*, *ИТГ2* на трансформаторные модули, включающие тиристоры регулятора возбуждения, подаются только в режиме торможения, когда замкнут контакт *РТ* в цепи этих обмоток.

Импульсы с обмоток 2 трансформаторов *ИТГ2*, *ИТЗ1*, *ИТЗ2* поступают на соответствующие трансформаторные модули *БСТ* только после сборки силовой схемы в режимах пуска или тормоза, когда замкнется контакт *Р* в цепи этих обмоток. Дополнительным условием прохождения импульсов с обмотки 2 трансформатора *ИТЗ1* в *БСТ* является включенное состояние тиристора *T402*. Последний включается от обмотки 5 трансформатора *ИТГ2* через резистор *R430* и удерживается во включенном состоянии током по цепи: «+» *D403*, *R431*, *D421*, *T402*, *Р*, «—» *D403*. При торможении тиристор *T402* разрешает включение главных тиристоров первой фазы только после возбуждения второй группы двигателей *М2*, *М4*, т. е. появления импульсов на обмотке 5 трансформатора *ИТГ2*.

Импульсы с обмоток 2 трансформаторов *ИТП1*, *ИТП2*, а также импульсы с обмоток 3 трансформаторов *ИТЗ1*, *ИТЗ2* поступают на соответствующие трансформаторные модули *БСТ* только после включения тиристора *T403*, разрешающего включение тиристорного регулятора возбуждения тягового двигателя.

Блок реле управления предназначен для обеспечения заданного порядка взаимодействия отдельных функциональных узлов электронного блока управления. Реле управления включаются по команде контроллера управления под контролем состояния силовых контакторов схемы управления вагоном.

Реле хода *PX* включено на всех ходовых положениях контроллера управления. Его контакты меняют при пуске емкость интегрирующих конденсаторов, подключая параллельно конденсаторам *C202*, *C206* соответственно конденсаторы *C203*, *C211*. Контакты *PX* обеспечивают также действие узла включения регулятора возбуждения двигателя только при пуске. Размыкающий контакт *PX* обеспечивает быстрый разряд конденсаторов *C403*, *C404* при возврате контроллера управления в нулевое положение. Это необходимо для быстрой подготовки схемы к повторному пуску.

Реле торможения *PT* включено на всех тормозных положениях КУ и его контакты используются для пропуска импульсов в *БСТ* для задания уставки на первом тормозном положении, для отключения цепей уставок пускового режима и для ускорения разряда конденсатора *C403* при возврате контроллера управления из тормозного положения в нулевое.

Реле *P* включается после сборки ходовой или тормозной схемы. Его контакты обеспечивают подачу управляющих импульсов в *БСТ* и подключение цепей уставок при пуске и торможении.

Реле уставок *PY1—PY3* включаются контроллером управления после сборки силовой схемы и включения тиристора *T410*. Причем *PY1* включается в положениях контроллера управления *X2—X4* и *T2—T5*; *PY2* — в положениях *X3—X4* и *T3—T5*; *PY3* — в положениях *X4* и *T4—T5*. Тиристор *T410* включается от обмотки 4 трансформатора *ИТГ1* и разрешает включение реле *PY1—PY3* только после начала работы тиристорного регулятора.

Контакты реле *PY1—PY3* используются в узле задания уставки тока для изменения сигнала, пропорционального заданному значению тока в двигателе. Контакт *PY3* в цепи тиристора *T403* используется для включения тиристорного регулятора возбуждения только в положении *X4* контроллера управления. В схеме электронного блока управления предусмотрена сигнальная лампа *Л101* для контроля работы *НЗГ*. Выключателем *B401* можно исключить влияние узла противобоксовочной защиты на режим задания уставок тока.

Выключатель *B9* исключает влияние реле минимального напряжения *РН* на сигнал уставки тока. В рабочем состоянии выключатель *B9* замкнут. При снижении напряжения в контактной сети до 300—350 В реле *РН* выключается и снижает сигнал уставки тока.

Кнопка *КН6* предназначена для увеличения уставки тока при пуске до 350 А, например, при буксировке вагона на подъеме.

Для контроля параметров электронного блока управления в нем предусмотрены контрольные точки, выведенные на лицевые панели каждой кассеты этого блока. На схеме рис. 125 эти точки обозначены с указанием номера контрольного разъема и номера гнезда этого разъема, на который выводится данная точка.

ГЛАВА XI

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ЦЕПИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

51. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ НАПЯЖЕНИЕМ 550 В

Назначение электрических вспомогательных машин. Вспомогательные электрические машины постоянного тока, применяемые на подвижном составе, работают на номинальном напряжении 550 В, 24 и 12 В. Электродвигатели для привода генераторов собственных нужд и вентиляторов пускотормозных резисторов, а также привода компрессоров выполняются с последовательным возбуждением и работают на номинальном напряжении 550 В. Они рассчитаны на работу при больших колебаниях напряжения в контактной сети и неблагоприятных атмосферных условиях. Приводной электродвигатель и генератор собственных нужд составляют агрегат, который называется *двигатель-генератор*. Электродвигатель с вентилятором составляют агрегат *двигатель-вентилятор*. Он служит для вентиляции пассажирского салона и охлаждения пускотормозных резисторов, а также тяговых электродвигателей в том случае, если последние рассчитаны на независимую вентиляцию. С целью упрощения электрооборудования часто вентилятор и генератор собственных нужд приводятся в действие от одного электродвигателя. В этом случае требуется электродвигатель мощностью 2,5—5 кВт, причем мощность приводного электродвигателя выбирают пропорциональной объему подаваемого воздуха и его напору, определяемому потерей давления в потребителях и воздухопроводах. Объем подаваемого воздуха и его напор зависят от частоты вращения вентилятора.

Для питания сжатым воздухом тормозной системы, пневмодвески экипажа и других потребителей сжатого воздуха обычно устанавливают поршневой одноступенчатый компрессор с подачей 300—500 л/мин и максимальным давлением до 0,8 МПа. Электродвигатель с компрессором в сборе составляют агрегат, называемый *двигатель-компрессор*. Требуемое давление сжатого воздуха в запасных резервуарах поддерживается автоматически регулятором давления, который после повышения давления выше установленного отключает двигатель-компрессор от питания, а при снижении давления ниже заданного снова его включает.

Подачу компрессора следует выбирать такой, чтобы обеспечить нормальное среднее потребление сжатого воздуха при продолжительности включения ПВ-50 % всего времени работы агрегата.

Мощность электродвигателя компрессора требуется в пределах 2—4 кВт.

Все вспомогательные электродвигатели получают питание через постоянно введенные в их цепь индивидуальные резисторы, которые называются демпферными. Демпферный резистор служит для снижения максимальных значений переходных токов, возникающих при колебаниях напряжения в контактной сети и, в частности, при проездах пересечений, изоляторов и других спедчастей контактной сети.

Включение и выключение цепей вспомогательных двигателей осуществляются выключателями с ручным приводом или контакторами. На трамвайных вагонах и троллейбусах отечественного производства применяют выключатели ВУ-222 и ВУ-222А с дугогашением. Для защиты от перегрузок и коротких замыканий в каждой цепи установлены плавкие предохранители. Электрические схемы вспомогательных цепей на напряжении 550 В трамвайных вагонов и троллейбусов представлены на рис. 78, 82 и 88.

Освещение и световая сигнализация. Освещение салона электрифицированного подвижного состава может осуществляться либо непосредственно от контактной сети, как на трамвайных вагонах РВЗ-6М-2, КТМ-5М-3 и Т-3, либо от аккумуляторных батарей, как на троллейбусах ЗиУ-9 и 9Тр.

На трамвайных вагонах для освещения салона и маршрутных фонарей применяют лампы Т1 или ТР мощностью 60 Вт и напряжением 120 В и лампы мощностью 60 Вт и напряжением 50—55 В. Лампы на напряжение 55 В имеют более толстую нить, чем лампы на 120 В, и по сравнению с последними обладают следующими преимуществами: они имеют значительно больший световой поток (564 вместо 390 лм) и в 2 раза больший срок службы (1000 вместо 500 ч). Лампы имеют устройство, автоматически закорачивающее цепь при перегорании нити.

Люминесцентные лампы более экономичны по сравнению с лампами накаливания. Их световой поток более чем в 4 раза превосходит световой поток ламп напряжением 24 В и почти в 7 раз трамвайных ламп напряжением 120 В. При правильной их эксплуатации срок службы люминесцентных ламп в 2—3 раза превосходит срок службы ламп накаливания. При люминесцентном освещении обеспечивается более равномерная освещенность салона. Для питания люминесцентных ламп требуется переменный ток, но их можно присоединять непосредственно к контактной сети через балластные резисторы.

На вагоне РВЗ-6М-2 пассажирский салон освещается двумя группами ламп, которые получают питание от контактной сети. В каждой группе по 13 ламп ПВ-1 (50 В, 60 Вт), соединенных последовательно. Из них в салоне устанавливаются 20 ламп (11 ламп на левой стороне потолка салона и 9 ламп на правой стороне), 5 ламп в маршрутном указателе и 1 лампа в маршрутном номере. Лампы ПВ-1 самозакорачивающиеся, имеют форму и цоколь обычных ламп промышленного типа. Цепи освещения включаются па-

кетными выключателями ПВ-6/Т и защищены плавкими предохранителями.

Пассажирский салон вагона КТМ-5М-3 освещается 36 электрическими лампами ТР мощностью 60 Вт и напряжением 120 В. Лампы питаются от контактной сети. Они включены в 6 параллельных групп, в каждой группе по 6 последовательно соединенных ламп.

На трамвайном вагоне Т-3 применяют люминесцентное освещение пассажирского салона. Используется схема надеж-

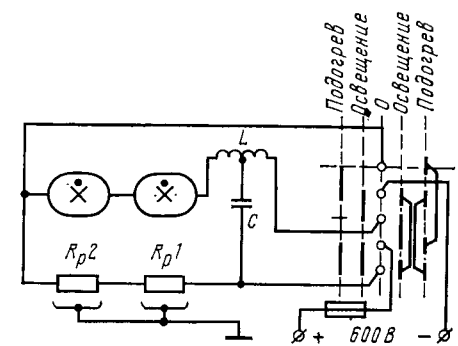


Рис. 126. Схема люминесцентного освещения с бесконтактным включением

ного в эксплуатации бесконтактного зажигания ламп (рис. 126). Всего имеется 6 групп. В группе по две лампы каждая мощностью 25 Вт и напряжением 220 В, катушка индуктивности L , конденсатор C и резисторы обогрева R_{p1} и R_{p2} . Цепь люминесцентного освещения включается реверсивным переключателем, который одновременно служит для изменения полярности тока, проходящего через люминесцентные лампы. Переключатель имеет 5 позиций: нулевое, две позиции «Освещение» и две дополнительные позиции «Подогрев». Дополнительные позиции используют для включения обогревателя плафона в холодное время, так как при низких температурах не происходит зажигания люминесцентных ламп. При установке переключателя в положение «Освещение» вначале происходит заряд конденсатора и одновременно накапливается энергия в катушке индуктивности. В результате появляется импульс напряжения и лампы загораются. Конденсатор, включенный параллельно лампам, служит для улучшения работы цепи в режиме включения.

В схеме используют люминесцентные лампы мгновенного зажигания (безнакальные), для питания их применяют постоянный ток. При длительном прохождении постоянного тока через люминесцентную лампу появляется потемнение прикатодной зоны лампы, это потемнение начинает активно сказываться через 50—70 ч работы лампы при постоянной полярности. В связи с этим для сохранения ламп следует не реже одного раза в 2 ч обязательно изменять полярность тока (направление тока), проходящего через лампы, с помощью реверсивного переключателя. Для обеспечения порядка и возможности контроля полярность переключают обычно на каждой конечной станции маршрута. Более частые переключения полярности тока удлиняют срок службы люминесцентной лампы.

Отопление и стеклообогреватели. В целях экономии электроэнергии на некоторых трамвайных вагонах и троллейбусах для обогрева пассажирского салона используется тепло, выделяемое в пускотормозных реостатах. Воздух, засасываемый вентилятором из салона, проходит через пускотормозной реостат, нагревается и

в зимнее время возвращается обратно в пассажирский салон, а в летнее время выбрасывается в атмосферу. Таким образом, обеспечиваются вентиляция салона и его отопление. Дополнительно к этому пассажирский салон и кабина водителя обогреваются электрическими печами.

На троллейбусе ЗиУ-9 дополнительный нагрев воздуха на выходе из пускотормозного реостата осуществляется десятью элементами НВС-0,4/0,36 общей мощностью 36 кВт, расположенными под кузовом троллейбуса за ящиком пускотормозных реостатов. Печь салона ПС (см. рис. 78, а) можно ввести в работу только после включения двигателя вентилятора ДВ включением выключателей ВВЦ1, ВВЦ2 и ВВЦ4, так как без обдува воздухом электропечь перегреется и нагревательные элементы выйдут из строя. Воздух, продуваемый вентилятором через пускотормозной реостат, перед выходом в пассажирский салон дополнительно нагревается в электропечи.

Кабина водителя обогревается электропечью П4, которая включается выключателем ВВЦ3 и контактором КП1 (типа КПД-110Е), смонтированным на текстолитовой панели, укрепленной на левом борту в кабине. Отопительная система кабины состоит из электрической печи и распределителей воздуха с гибкими рукавами. В корпусе печи смонтированы нагревательные элементы. Печь имеет систему рычагов и заслонок, с помощью которых осуществляются различные режимы: забор воздуха — снаружи или из кабины, поступление теплого воздуха в кабину через жалюзи, обдув ветровых стекол. Возможна регулировка подачи воздуха при всех режимах с помощью рычагов и заслонок.

Электрическую печь кабины можно включить только после того, как начнут работать электродвигатели вентиляторов ЭВП-I и ЭВП-II (тип МЭ-233), которые включаются выключателем В8 (см. рис. 132). Втягивающая катушка контактора КП1, замыкающего цепь электропечи, включается выключателями В8 и В28. В летнее время для вентиляции воздуха в кабине можно включить выключателем В8 одни вентиляторы, не включая электропечь.

На троллейбусе 9Тр в холодное время салон обогревается восемью электропечами 707 (см. рис. 78, а), которые устанавливаются в шахматном порядке под сиденьями пассажиров. Включаются электропечи выключателями 710 и 711. Электропечи включены параллельно, в каждой из них по 2 последовательно соединенных нагревательных элемента. Напряжение элемента 300 В, мощность 500 Вт. Общая мощность печей салона 8 кВт.

Место водителя обогревается одной электропечью 709, установленной за сиденьем. Электропечь состоит из двух нагревательных элементов и включается выключателем 706. Помимо этого, предусмотрен дополнительный обогрев места водителя электропечью, состоящей из двух элементов мощностью по 100 Вт, напряжением 150 В, расположенных над педалями. Печи дополнительного обо-

грева включаются выключателями 726. Ветровое и боковые стекла кабины водителя обогреваются теплом электропечей 723 общей мощностью 3 кВт и дополнительных печей 727 мощностью 1,1 кВт. Электропечи 723 стеклообогрева включаются контактором 703, а электропечи 727 дополнительного стеклообогрева и обогрева места водителя — выключателями 726. Тепло от печей 723 отводится вентилятором, приводимым в действие двигателем 724 номинальным напряжением 24 В и мощностью 20 Вт. Электропечи и двигатель с вентилятором установлены за панелью в кабине. В воздушном канале за панелью размещается аварийный термостат РН-810. В случае повышения температуры в канале до 300° С (например, при выходе из строя двигателя или вентилятора) контакты 725 аварийного термостата отключат цепь питания катушки контактора 703 (см. рис. 79, а), который в свою очередь отключит электропечь 723.

На вагоне РВЗ-6М-2 дополнительный нагрев воздуха при выходе из пускотормозного реостата осуществляется 16 нагревательными элементами ЭТ-44 напряжением 110 В и мощностью 400 Вт каждый, включенными в две параллельные группы по 8 последовательно соединенных элементов в каждой группе. Эти дополнительные обогревательные группы включаются контактором и получают питание от контактной сети через плавкий предохранитель.

Нагревательный элемент ЭТ-44 представляет собой проволочную спираль, размещенную в металлической трубке и изолированную от трубки спрессованным кварцевым песком. Концы трубок закрыты изоляционными пробками с выводными шпильками для присоединения проводов.

Кабина водителя обогревается электропечью «Обогрев кабины», выполненной из семи нагревательных элементов ЭТ-44, размещенных в металлическом кожухе и установленных на задней стенке кабины, и электропечью «Обогрев места водителя» — из четырех нагревательных элементов.

Лобовые стекла кабины обогреваются стеклообогревателями. Вертикально расположенные элементы стеклообогревателей (4 элемента ЭТ-44) размещены на междуконных стойках и защищены металлическими перфорированными кожухами. Стеклообогреватели соединены последовательно с обогревателем кабины водителя, выполненным также из трех элементов ЭТ-44.

Горизонтально расположенные стеклообогреватели (СОГ) представляют собой также трубчатые нагревательные элементы мощностью по 300 Вт и напряжением 275 В и имеют длину 1060 мм. Эти стеклообогреватели устанавливают в нижней части ветровых стекол и кабины и ограждены металлическим перфорированным прямоугольной формы кожухом. Температура нагрева наружной поверхности нагревательного элемента составляет 300° С.

Печи обогрева кабины и стеклообогреватели включаются выключателями и получают питание через плавкий предохранитель.

Салон вагона КТМ-5М-3 отапливается 56 нагревательными элементами ЭТ-60 мощностью по 400 Вт и напряжением 220 В. Нагревательные элементы устанавливаются в тумбах диванов для пассажиров по два элемента в тумбе. Кабина водителя обогревается нагревательными элементами ЭТ-60 общей мощностью 3 кВт, расположенными под сиденьем водителя.

Трубчатые элементы стеклообогревателей укрепляют на кронштейнах, позволяющих регулировать положение трубок по отношению к стеклу. Стеклообогреватели выполнены из двух нагревательных элементов ЭТ-60 (400 Вт, 220 В) и одного элемента ЭТ-100 (400 Вт, 220 В). Отопление кабины и стеклообогреватели включаются выключателями ВУ-222.

На трамвайном вагоне Т-3 для дополнительного подогрева пассажирского салона устанавливают 27 электропечей мощностью по 200 Вт и напряжением 200 В. Электропечь состоит из двух элементов, выполненных из проволоочной спирали, размещенной в трубке и изолированной от нее. Выводные шпильки служат для соединения с внешними проводами. Элементы с помощью изоляторов устанавливают в тумбах пассажирских сидений. При установке на вагоне наружная часть электропечи заземляется. Электропечи включаются в две параллельные группы (см. рис. 88), питание к ним подводится из контактной сети через плавкие предохранители на 10 А и контакторы *ST1* и *ST2*. Одна группа электропечей располагается в воздушном канале с правой стороны салона и продувается воздухом, прогоняемым вентиляторами двигателя-генератора через ускоритель, а вторая группа — в тумбах пассажирских сидений с правой стороны салона. Дополнительный обогрев салона включается водителем с помощью переключателя *T*, расположенного с правой стороны у пульта. Переключатель имеет три положения: «Нулевое», «Первое», при котором подается питание на втягивающую катушку контактора *ST1*, и «Второе», на котором дополнительно включается контактор *ST2*.

Для обогрева кабины предусмотрен калорифер, обогревательные элементы которого расположены внутри металлического ящика, оклеенного с внутренней стороны асбестовой бумагой. Имеются две параллельные группы, в каждой группе по шесть нагревательных элементов, соединенных последовательно.

Включается калорифер переключателем, расположенным слева в кабине, рядом с переключателем обогрева салона. Переключатель имеет нулевое и три рабочих положения: на первом рабочем положении включается только вентилятор, на втором и третьем рабочих положениях включаются нагревательные элементы, причем потребляемая нагревательными элементами мощность составляет 2,4 кВт на втором положении и 4,8 кВт на третьем положении переключателя.

Схема включения калорифера исключает возможность включения нагревательных элементов при неработающем вентиляторе. В ящик калорифера воздух подается вентилятором. В зависимости от положения регулирующей рукоятки, расположенной с левой

стороны кресла водителя, воздух вентилятором забирается через фильтр либо из кабины водителя, либо из атмосферы (из-под вагона). Нагретый воздух из ящика калорифера распределяется по трем металлостекловолокнистым рукавам в кабину водителя: к правому и левому ветровым стеклам через специальный наконечник тонкой широкой струей и под ноги водителя, где рядом с педалью безопасности устанавливается еще одна рукоятка, с помощью которой воздух от третьего рукава может направляться под ноги водителю и на ветровое стекло.

Для защиты калорифера от перегрузок предусмотрен автоматический выключатель калорифера, действие которого основано на изгибании биметаллической пластины при повышении температуры до установленного значения, что приводит к разрыву цепи питания контактора калорифера.

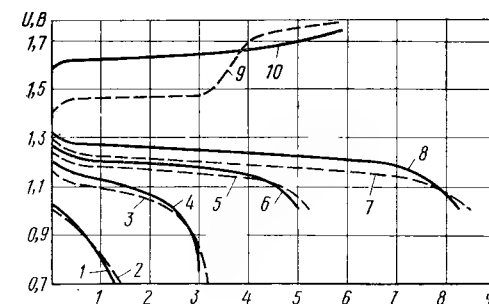
52. АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ

Общие сведения о батареях. На современном электрифицированном подвижном составе цепи управления, освещения, сигнализации, рельсовых тормозов и других потребителей малой мощности питаются от источника тока, состоящего из аккумуляторной батареи, работающей параллельно с зарядным устройством. Подзаряжается аккумуляторная батарея обычно от генератора собственных нужд, а на трамвайном вагоне РВЗ-6М-2 — от контактной сети через вспомогательные цепи.

Возможно применение как кислотных аккумуляторных батарей, так и щелочных. Кислотные аккумуляторы имеют более высокое напряжение элемента, поэтому при заданном напряжении батареи требуется меньшее число аккумуляторов и меньшая относительная разность напряжения при заряде и разряде. Благодаря этому уменьшаются пределы колебаний напряжений в цепи потребителей при работе аккумуляторной батареи параллельно с зарядным генератором по системе постоянного подзаряда. У кислотных аккумуляторов несколько выше коэффициент отдачи и к. п. д.

Преимуществом щелочных аккумуляторов является большая надежность и механическая прочность, большой срок службы,

Рис. 127. Кривые разряда 1-часовым током (1, 2); 3-часовым (3, 4); 5-часовым (5, 6); 8-часовым (7, 8); заряда нормальным током (9, 10) щелочных аккумуляторов (штриховые линии для кадмиево-никелевых и сплошные для железо-никелевых аккумуляторов)



нечувствительность к перезарядам, перегрузкам и даже коротким замыканиям, более простое обслуживание, меньшее снижение емкости при низких температурах (ниже 0°C) и больших нагрузках, меньший саморазряд, отсутствие вредных выделений при работе аккумулятора. Поэтому на подвижном составе трамвая и троллейбуса преимущественно применяются щелочные аккумуляторные батареи.

В зависимости от состава активной массы электродов щелочные аккумуляторы бывают железо-никелевые, никель-кадмиевые, цинко-никелевые и другие. Зарядные и разрядные характеристики железо-никелевых и никель-кадмиевых аккумуляторов приведены на рис. 127. Скачок напряжения в самом начале заряда этих аккумуляторов (кривые 9 и 10) объясняется поляризацией железного электрода. Заряд производится нормальным зарядным током в течение 7 ч, при этом к аккумулятору подводится количество электричества, равное 175% его номинальной емкости. При зарядном токе, меньшем номинального, кривая напряжения заряда проходит несколько ниже, а при большем зарядном токе — несколько выше кривых 9 и 10. После заряда э. д. с. аккумулятора вначале составляет около 1,5 В и затем устанавливается 1,34—1,36 В.

При разряде напряжение на аккумуляторе зависит от разрядного тока. Глубокий разряд аккумуляторной батареи требует последующего усиленного заряда во избежание потери емкости. Емкость аккумуляторной батареи должна быть достаточной для получения необходимой мощности питания всех низковольтных потребителей, включаемых на короткое время (электродвигателей привода дверей, рельсовых тормозов и др.).

Конструкция щелочных аккумуляторных батарей. На современном электрифицированном подвижном составе трамвая и троллейбуса применяют следующие типы аккумуляторных батарей.

На троллейбусе ЗиУ-9 устанавливают две аккумуляторные батареи 9НКЛБ-70, включенные последовательно и имеющие общее напряжение 24 В и емкость 70 А·ч; на троллейбусе 9Тр — аккумуляторная батарея 18НКТ-105 напряжением 24 В и емкостью 105 А·ч. На трамвайном вагоне РВЗ-6М-2 применяют аккумуляторные батареи с аккумуляторами НК-125 напряжением 48—50 В и емкостью 125 А·ч. Для обслуживания потребителей на вагоне КТМ-5М-3 устанавливают 8 аккумуляторных батарей 5КН-125ТК, включенных в две параллельные группы, в каждой по 4 последовательно соединенных батарей с общим номинальным напряжением 24 В и емкостью 250 А·ч. На вагоне Т-3 батарея имеет 17 аккумуляторов чехословацкого производства NKS-100 или ЖН-100 отечественного производства. Общее напряжение аккумуляторной батареи 24 В и емкостью 100 А·ч.

В качестве примера рассмотрим конструкцию щелочной аккумуляторной батареи 9НКЛБ-70. Условное обозначение батареи расшифровывается следующим образом: 9 — число последовательно соединенных аккумуляторов в батарее; НК — система аккумуляторов (никель-кадмиевая); Л — конструкция электродов (ламель-

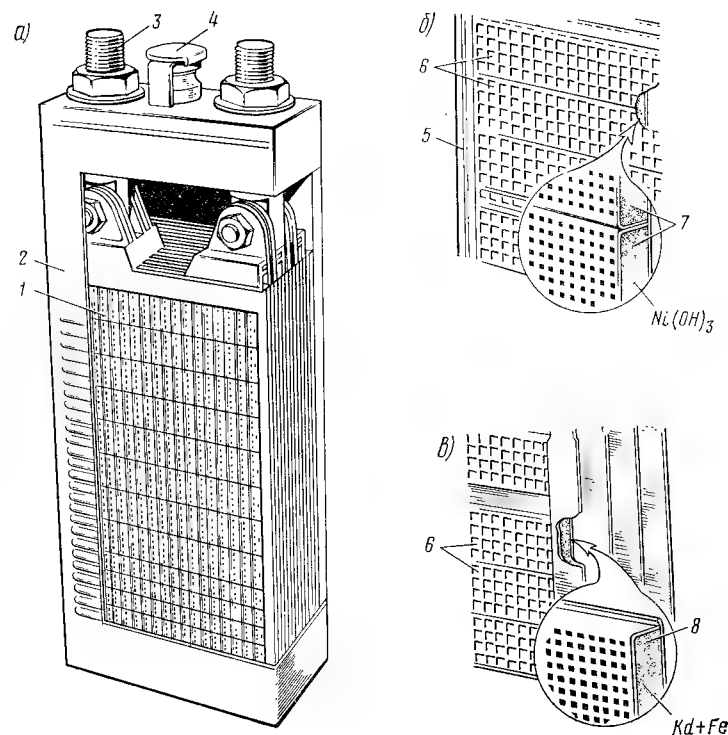


Рис. 128. Общий вид (а), положительная (б) и отрицательная пластины (в) щелочного аккумулятора

ная); Б — назначение батареи (для работы в буферном режиме); 70 — номинальная емкость при 7-часовом разряде в А·ч.

Щелочной аккумулятор (рис. 128, а) состоит из корпуса 2 прямоугольной формы, блока положительных и отрицательных пластин 1 и электролита. Корпус аккумулятора может быть выполнен из листовой стали сварной конструкции или полиэтиленовым. Блок пластин состоит из пластин положительной или отрицательной полярности, приваренных к стальному мостику, имеющему выводной борн 3. Пластина аккумулятора (рис. 128, б, в) выполнена из отдельных ламелей (пакетов) 6, штампованных из листовой перфорированной и никелированной стали, с запрессованной в них активной массой 7 и 8 и рамки 5, соединяющей ламели в пластину 1. В качестве активной массы положительных пластин 7 служит смесь гидрата окиси никеля с чешуйчатым графитом $\text{Ni}(\text{OH})_3$. Активная масса отрицательных пластин 8 выполняется из смеси губчатых кадмия и железа. Положительных пластин в аккумуляторе на одну меньше, чем отрицательных. Для предотвращения короткого замыкания положительные и отрицательные пластины

разделены сепарацией из эбонитовых стержней или стекловолокна. Блок пластин аккумулятора НКЛБ-70 плотно вставляют в стальную обойму с изоляционными прокладками по торцам, что исключает всякое их перемещение, вместе с обоймой помещают в полиэтиленовый сосуд (корпус) и закрывают крышкой. Борны положительных и отрицательных пластин выводят через отверстия крышек, уплотняют резиновыми и эбонитовыми кольцами и закрепляют гайками. Среднее отверстие в крышке (горловина) служит для заливки электролита в аккумулятор, оно закрывается пробкой 4, имеющей канал для выхода газов из аккумулятора. На крышке нанесены знаки полярности «+» и «-».

Аккумуляторы NKS-100 и ЖН-100 имеют стальной корпус. Для увеличения механической прочности стенки корпуса выполнены гофрированными. Наружная поверхность корпуса окрашивается битумным лаком для защиты от коррозии.

У железо-никелевых аккумуляторов в отличие от никель-кадмиевых активная масса отрицательных пластин выполняется из химически чистого губчатого железа.

Электролитом для щелочных аккумуляторов служит водный раствор едкого калия технического марки А или В с добавкой едкого лития аккумуляторного (моногидрата гидроокиси лития). Плотность электролита в летний период эксплуатации аккумулятора должна быть 1,19—1,21 г/см³, в зимний период при температуре ниже -15° С 1,26—1,28 г/см³ без добавки едкого лития аккумуляторного. При использовании электролита без добавки моногидрата лития срок службы аккумулятора сокращается и емкость аккумулятора снижается примерно на 20%.

Промышленность выпускает готовые составные щелочи для приготовления электролита. Их поставляют в сухом виде в герметически закрытых сосудах, а также в виде концентрированных растворов.

Электролит для щелочных аккумуляторов готовят в чистых стальных или пластмассовых баках. Для приготовления электролита пригодна вода дисциллированная, дождевая или питьевая, причем при использовании питьевой воды ее следует предварительно подщелочить. Для этого в нее добавляют щелочь из расчета 2—5 г на литр воды, после чего вода должна отстояться в течение суток. Баки должны иметь плотно закрывающиеся крышки. Особенно удобны баки с двумя кранами: для слива осветленной щелочи и скопившегося внизу осадка. Запрещается пользоваться оцинкованной, луженой, алюминиевой, медной, керамической посудой, а также посудой, в которой готовился электролит для кислотных аккумуляторов.

Для получения электролита плотностью 1,19—1,21 г/см³ следует брать 1 кг едкого калия на 3,5 л воды и затем, тщательно перемешивая, добавлять в раствор едкий литий из расчета 20 г на 1 л электролита; для получения электролита плотностью 1,26—1,28 г/см³—1,2 кг едкого калия на 3 л воды. Плотность электролита проверяют ареометром. Отстоявшийся и остывший до темпе-

ратуры не более 25° С электролит заливают в аккумуляторы и выдерживают их в течение 1—2 ч для пропитки электродов.

Уровень электролита в аккумуляторе должен быть выше электродов на 5—25 мм. Замеряют его стеклянной трубкой с внутренним диаметром 3—5 мм по меткам на высоте до 25—30 мм.

Аккумуляторную батарею подключают к зарядному агрегату, соблюдая полярность, положительный полюс источника подключают к положительному полюсу аккумуляторной батареи. Число последовательно соединенных батарей определяется напряжением источника тока из расчета 1,75—1,8 В на каждый последовательно соединенный аккумулятор. Во время зарядки пробки аккумуляторов открывают (вентильные пробки можно не открывать).

Обслуживание аккумуляторной батареи при эксплуатации. Необходимо следить за тем, чтобы поверхность аккумулятора была чистой и сухой. Для очистки наружных частей аккумулятора от пыли и ползучих солей применяют чистую, слегка влажную ветошь, наведенную на деревянную палочку. Периодически прочищают отверстия в пробках от ползучих солей, чтобы газы могли свободно выходить из аккумулятора. Межэлементные и выводные соединения (перемычки) в батарее должны быть затянуты, борны смазаны техническим вазелином для защиты от коррозии. Смазка не должна попадать на резиновые уплотнения у борнов, так как резина может потерять свои упругие свойства. Ржавчину, появившуюся на стальном корпусе аккумулятора, удаляют ветошью, смоченной в керосине, и очищенное место покрывают битумным лаком. Аккумуляторы со стальным корпусом устанавливают в гнездах ящика с зазором не менее 3 мм, в противном случае необходимо аккумуляторы изолировать друг от друга эбонитом, винипластом или резиной. Сточные канавки ящиков, в которых размещают аккумуляторы, необходимо периодически прочищать. Не рекомендуется разряжать аккумулятор ниже допустимого предела разрядки во избежание потери емкости. Допускается разряд аккумулятора до 1 В. Систематический недозаряд щелочных аккумуляторов снижает их емкость. Единичные перезаряды для щелочных аккумуляторов не представляют опасности, но постоянный перезаряд уменьшает срок их службы.

53. РЕЛЕ-РЕГУЛЯТОРЫ

В эксплуатации напряжение и ток зарядного генератора могут колебаться в широких пределах в зависимости от изменения нагрузки и частоты вращения генератора. Для обеспечения совместной работы генератора с аккумуляторной батареей применяют реле-регуляторы, предназначенные для регулирования напряжения и тока генератора. Для каждого типа зарядного генератора выпускается свой реле-регулятор, предназначенный для совместной с ним работы.

На троллейбусе ЗиУ-9 применяют генератор переменного трехфазного тока Г-263А, который работает в комплекте с реле-регулятором РР-363; альтернатор троллейбуса 9Тр работает совместно с полупроводниковым регулятором зарядки; на трамвайном вагоне КТМ-5М-3 низковольтный генератор Г-731 работает в комплекте с реле-регулятором РРТ-24М; на вагоне Т-3 зарядный генератор работает с регулятором напряжения ГВ-11.

Реле-регулятор РР-363 (рис. 129) автоматически поддерживает напряжение генератора Г-263А в пределах 26,5—28 В и осуществляет автоматическую защиту основного регулирующего аппарата — транзистора при коротком замыкании зажима *Ш* на корпус.

Реле-регулятор имеет два блока — релейный и транзисторный. Релейный блок состоит из двух электромагнитных реле-регуляторов напряжения *РН* и реле защиты *РЗ*. Транзисторный блок состоит из транзистора *Т*, диода обратной связи *Д2* и гасящего диода *Д1*. Катушка регулятора напряжения *РН* включена параллельно генератору через добавочные резисторы *Р2* и *Р3* (между зажимами *ВЗ* и «—»). Размыкающий контакт регулятора напряжения *РН* включен в цепь реле защиты, а замыкающий контакт *РН* — в цепь базы транзистора *Т*.

Катушка реле защиты *РЗ* включена в цепь коллектора транзистора между размыкающими контактами *РН* и зажимом реле-регулятора *Ш*. Реле защиты имеет один замыкающий контакт *РЗ* в цепи базы транзистора.

При включении вспомогательного двигателя ротор зарядного генератора начинает вращаться. Так как в начальный период работы генератора к базе транзистора *Т* приложен отрицательный потенциал по отношению к эмиттеру (отрицательный зажим *М*, резистор *Р1*, база транзистора), транзистор *Т* открыт, и через него идет ток в обмотку возбуждения генератора по цепи: зажим *ВЗ*, резистор подпитки *Рп*, зажим *О*, диод *Д2*, переход *Э-К* транзистора, зажим *Ш*, обмотка возбуждения генератора *ОВГ*, зажим *М*.

С увеличением частоты вращения ротора повышается ток возбуждения и напряжение на генераторе поднимается до 28 В. Магнитный поток катушки *РН* увеличится и, преодолев натяжение пружины, притянет якорь. Контакты *РН* в цепи транзистора замкнутся, а в цепи катушки реле защиты разомкнутся. На базе транзистора появится положительный потенциал по отношению к эмиттеру. Транзистор *Т* закроется и отключит обмотку возбуждения генератора *ОВГ*. При этом возбуждение генератора уменьшится, и под действием пружины якорь отойдет от сердечника, вновь замкнув контакты *РН* в цепи катушки реле защиты *РЗ* и разомкнув контакты *РН* в цепи базы транзистора. Процесс повторится.

Ускоряющая цепочка *Д3, Р4* увеличивает частоту замыканий и размыканий контактов *РН*. Частота переключений электрической схемы должна быть не ниже 20—30 периодов в секунду, в результате на зажимах генератора устанавливается среднее регулируемое напряжение.

Генератор

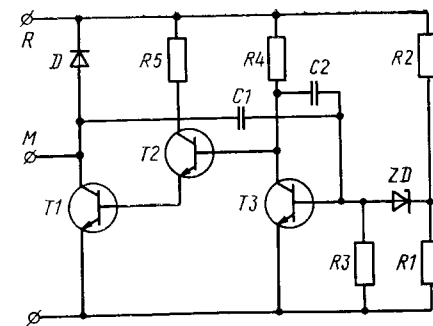
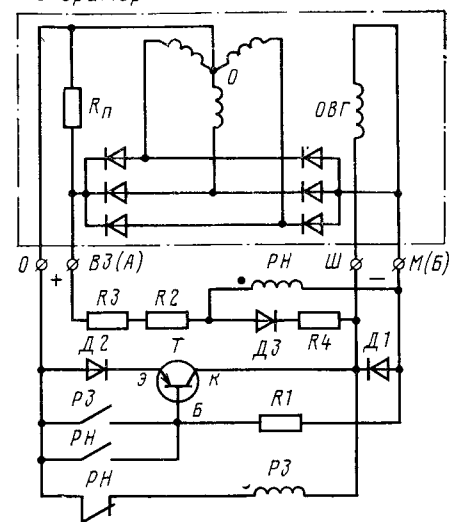


Рис. 130. Электрическая схема регулятора зарядки троллейбуса 9Тр

Рис. 129. Схема включения генератора Г-263А и реле-регулятора РР-363

Диод *Д2* служит для создания положительного смещения на базе транзистора в момент его запираания. Через диод *Д1* замыкается э. д. с. самоиндукции обмотки возбуждения генератора в момент запираания транзистора. Катушка реле защиты *РЗ* в нормальных условиях шунтируется цепью диода *Д2* — транзистор *Т*. При коротком замыкании зажима *Ш* на корпус ток в обмотке возбуждения генератора резко падает и напряжение на выходе генератора уменьшается, поэтому контакты *РН* в цепи катушки реле защиты *РЗ* будут закрыты. В этом случае к катушке *РЗ* прикладывается напряжение от генератора и аккумуляторной батареи через делитель *Рп*. Реле защиты срабатывает: замыкается контакт *РЗ* и запирает транзистор *Т*, что предохраняет его от выхода из строя.

Полупроводниковый регулятор зарядки типа 443 116 419 400 предназначен для поддержания на зажимах альтернатора постоянного напряжения 28 В. Это регулятор экранированного типа: все его аппараты размещены в алюминиевом корпусе. На основании корпуса укреплены корундовая плата регулятора и стальная плита, которая предназначена для установки аппаратов и отвода тепла. Она сверху залита силиконовой резиной для защиты аппаратов от вибрации при движении троллейбуса. Масса регулятора зарядки 0,25 кг.

Электрическая схема полупроводникового регулятора зарядки показана на рис. 130. Напряжение на зажимах альтернатора зависит от частоты вращения ротора и магнитного потока обмотки возбуждения. Чтобы поддержать напряжение на зажимах альтернатора постоянным (28 В) при различной частоте вращения ротора, необходимо регулировать напряжение альтернатора, поэтому его

обмотку возбуждения присоединяют к зажимам *R* и *M* регулятора зарядки.

С увеличением оборотов альтернатора напряжение на его зажимах достигает номинального значения. При этом напряжение на входном делителе достигает значения, при котором опорный диод Зенера (стабилитрон *ZD*) начинает проводить ток. Он открывает входной транзистор *T3*, выходной транзистор *T1* закрывается и по обмотке возбуждения ток протекать не будет, напряжение альтернатора уменьшается. В результате резко упадет напряжение на входном делителе и диод *ZD* перестанет проводить ток. Входной транзистор закроется, и цепь обмотки возбуждения альтернатора опять восстановится: ток возбуждения пойдет через зажим *M*, выходной транзистор *T1* на зажим альтернатора отрицательной полярности. Напряжение на альтернаторе опять возрастет, и процесс повторится.

Между базой и коллектором входного транзистора *T3* включен конденсатор *C2* и между базой входного транзистора *T3* и коллектором выходного транзистора *T1* — конденсатор *C1*. Подбирая емкости конденсаторов *C1* и *C2*, изменяют скорость закрывания выходного транзистора *T1*. Диод *D* установлен в цепи коллектора транзистора *T1*, чтобы при закрытии транзистора снизить перенапряжения на его коллекторе.

Реле-регулятор РРТ-24М предусматривается для поддержания постоянного напряжения зарядного генератора Г-731 и автоматического регулирования тока подзаряда аккумуляторной батареи.

Из электрической схемы реле-регулятора РРТ-24М (рис. 131) видно, что он состоит из реле обратного тока *POT*, ограничителя тока *OT*, двух регуляторов напряжения *PH1* и *PH2* и контактора *K*. На сердечнике контактора *K* имеются две катушки: включающая *K1* и удерживающая *K2*. Контакт *K* имеет два контакта — замыкающий и размыкающий.

Реле обратного тока *POT* предназначено для автоматического включения генератора при подзарядке аккумуляторной батареи и для предотвращения разряда батареи на генератор в случае понижения напряжения на его зажимах. Реле обратного тока регулируется на напряжение включения 24,5—26,5 В. На сердечнике реле *POT* имеются три катушки: последовательная *POT1*, параллельная *POT2* и ускоряющая *POT3*, а также замыкающие контакты *POT* в цепи питания катушки контактора *K1*.

Катушка *POT1* включена последовательно с якорем генератора. Параллельная катушка *POT2* включена через добавочный резистор *R1* на напряжение генератора. Когда напряжение на зажимах генератора достигает уставки включения реле, контакты *POT* замкнут цепь питания катушки *K1* и контактор *K* включит генератор на подзарядку аккумуляторной батареи. В этом случае контакты *K* в цепи последовательной катушки реле *POT1* разомкнутся, и катушка *K1* будет получать питание через ускоряющую катушку реле *POT3* и удерживающую катушку *K2* контактора. При снижении напряжения генератора до уровня, при котором ток

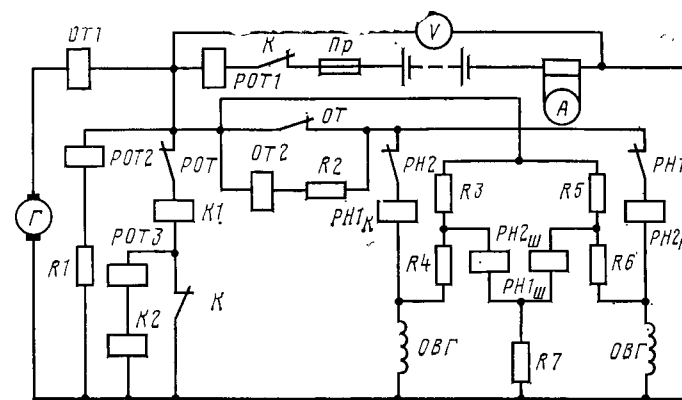


Рис. 131. Принципиальная электрическая схема реле-регулятора РРТ-24М

изменит свое направление и пойдет от аккумуляторной батареи к генератору, намагничивающая сила катушки *POT1* будет направлена встречно намагничивающей силе катушки *POT2*, якорь реле обратного тока отпадет, контакты *POT* разомкнутся и отключат питание катушки контактора *K1*. Контакт *K* отсоединит генератор от аккумуляторной батареи. Ускоряющая катушка *POT3* способствует быстрому отключению реле *POT* при появлении обратного тока. Реле обратного тока отключает генератор при обратном токе от 2 до 8 А.

Ограничитель тока (*OT*) препятствует увеличению тока генератора. Он регулируется на ток срабатывания 53—63 А. На сердечнике реле имеются две катушки — основная катушка *OT1*, включенная последовательно с якорем генератора, и ускоряющая катушка *OT2*, которая включена через резистор *R2* параллельно контактам ограничителя тока *OT*. До тех пор, пока нагрузка генератора не превысит тока срабатывания реле, контакты реле *OT* остаются замкнутыми и ток в цепи обмоток возбуждения генератора *ОВГ* идет через замкнутые контакты реле *OT*, контакты *PH1* и *PH2* регуляторов напряжения и компенсирующие катушки *PH2к* и *PH1к*. При увеличении нагрузки генератора до уставки срабатывания реле ограничителя тока контакты реле *OT* размыкаются и в цепи обмоток возбуждения генератора вводится добавочный резистор *R2*. Тогда напряжение генератора и ток нагрузки уменьшатся и контакты *OT* снова замкнутся. Процесс повторяется. Таким образом, ток нагрузки колеблется около среднего значения тока регулирования реле. Ускоряющая катушка *OT2* создает встречную намагничивающую силу, увеличивая частоту колебаний якоря ограничителя тока и уменьшая амплитуду колебания тока нагрузки. Колебания тока при работе зарядного генератора не должны превышать ± 5 А. Зарядный ток при работе генератора должен быть в пределах 5—35 А (максимальный ток до 48 А) в зависимости от напряжения аккумуляторной батареи.

Регуляторы напряжения *PH1* и *PH2* предназначены для поддержания постоянным напряжения на зажимах генератора 28,5—30,5 В. На сердечниках регуляторов напряжения также имеются по две катушки: параллельная *PH1_ш* и компенсирующая *PH2_к* (*PH2_ш* и *PH1_к*). При повышении напряжения на зажимах генератора до напряжения регулирования контакты *PH1* и *PH2* разомкнутся и в цепи обмоток возбуждения *ОВГ* вводятся резисторы соответственно *R3*, *R4* и *R5*, *R6*. Напряжение генератора уменьшится и контакты *PH1* и *PH2* снова замкнутся. Для синхронной работы регуляторов напряжения компенсирующие катушки регуляторов включены по перекрестной схеме, т. е. в цепь питания одной ветви обмотки возбуждения генератора включена катушка второго реле *PH2_к* и соответственно в цепь питания второй ветви обмотки возбуждения — катушка *PH1_к*.

Напряжение, поддерживаемое реле-регулятором при частоте вращения генератора 2700 об/мин, может достигать 31,5 В, когда реле-регулятор в нагретом состоянии после 1,5—2,5 ч непрерывной работы находится под нагрузкой.

Регулятор напряжения *GB-11* предусмотрен для поддержания постоянного напряжения на зажимах зарядного генератора.

На П-образном сердечнике имеются две катушки: *CRN* (см. рис. 89) подключается параллельно генератору и *CRP* подключается последовательно к наиболее мощным потребителям тока низкого напряжения. Когда напряжение на зажимах генератора меньше 24 В, подвижной угольный контакт *RG* замкнут с верхним неподвижным контактом под действием пружины. Ток в обмотку возбуждения генератора *ОВГ* идет через замкнутые контакты *RG*, минуя резисторы. При увеличении напряжения генератора более 24 В намагничивающая сила катушки *CRN* увеличивается и якорь притягивается к сердечнику регулятора, размыкая контакты *RG*. В обмотку возбуждения генератора *ОВГ* вводится резистор *RRG1*. Уменьшается возбуждение обмотки и напряжение генератора. Если же напряжение генератора было значительно повышено, то якорь регулятора притянется настолько, что замкнет подвижной контакт с нижним неподвижным контактом. При этом параллельно обмотке возбуждения генератора *ОВГ* включится резистор *RRG4*, еще более уменьшая возбуждение и, следовательно, напряжение генератора и контакты регулятора снова замкнутся. Таким образом, при более высоком напряжении на зажимах зарядного генератора вибрация подвижного контакта происходит у нижнего неподвижного контакта, а при напряжении, близком к номинальному, — у верхнего неподвижного контакта.

Поскольку при больших токах напряжение генератора понижается, для компенсации этого понижения катушка *CRP* создает дополнительное возбуждение, которое изменяет уставку реле. В результате этого поддерживается увеличенный магнитный поток полюсов генератора и напряжение на зажимах генератора несколько повышается.

54. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ НАПЯЖЕНИЕМ 24 И 12 В

Механические тормоза трамвайных вагонов имеют пневматический или электромагнитный привод. Пневматический привод механических тормозов неудобен для эксплуатации особенно в зимнее время, когда возможно замерзание конденсата в воздухопроводах и пневматическом оборудовании. Поэтому на многих типах современных вагонов применяют механические тормоза с электромагнитным приводом. В зависимости от назначения тормоз может быть колодочным или рельсовым.

Колодочный тормоз барабанного типа предназначен для автоматического замещения электрического торможения механическим при истощении электрического торможения на низких скоростях или в случае какой-либо неисправности в цепи реостатного торможения. Колодочные тормоза троллейбусов и трамвайного вагона *PB3-6M-2* имеют пневматический привод, а на вагонах *KTM-5M-3* и *T-3* привод колодочных тормозов электромагнитный.

Рельсовый электромагнитный тормоз применяется на рельсовом подвижном составе для экстренного торможения вагона. Тормозная сила, развиваемая тормозными устройствами вагона, ограничивается условиями сцепления колес с дорогой. В связи с этим на трамвайных вагонах максимальное замедление, которое можно реализовать по условиям сцепления, не превышает 1,5—2,0 м/с². Применение рельсовых электромагнитных тормозов позволяет реализовать тормозную силу, не ограниченную сцеплением, и развить при экстренном торможении замедление до 4—4,5 м/с².

На трамвайных вагонах *PB3-6M-2* применяют рельсовые тормоза *TRM-5B*, на вагонах *KTM-5M-3* — типа *TRM-5Г*, на трамвайных вагонах *T-3* рельсовые тормоза *KB-37* и *6MP*.

Рельсовое торможение является резким и изнашивает рельсы, поэтому его используют только при экстренном торможении.

Электропневматические вентили *BB-2A* и *КЛП-6Б* применяют на вагонах *PB3-6M-2* и *ЛМ-68*. Они предназначены для управления работой пневматических аппаратов. Электропневматические вентили бывают двух типов: включающие и выключающие.

Электропневматический вентиль включающего типа *BB-2A* используют для управления пневматическим приводом дверей, он открывает доступ сжатому воздуху в пневматические цилиндры при возбуждении катушки электромагнита.

Электропневматический вентиль выключающего типа *КЛП-6Б-1* закрывает доступ сжатого воздуха в пневматический аппарат при возбуждении катушки. Этот вентиль используется для автоматического включения замещающего пневматического торможения при истощении реостатного торможения или прекращении его действия, а также при отпуске педали безопасности.

Электропневматический регулятор давления *AK-11Б* предназначен для поддержания постоянного давления сжатого воздуха в напорной системе и в запасных резервуарах и для автоматического включения и выключения двигателя компрессора. На троллей-

бусе ЗиУ-9 цепь двигателя компрессора отключается регулятором давления при давлении в напорной системе 0,8 МПа, включается при давлении 0,65 МПа. На трамвайном вагоне РВЗ-6М-2 двигатель компрессора отключается при давлении в запасных резервуарах 0,6 МПа и включается при давлении 0,4 МПа.

На троллейбусе 9Тр для размыкания и замыкания цепи двигателя компрессора в зависимости от изменения давления воздуха в системе применяют пневматический выключатель VR2D52. Он выключает двигатель компрессора при достижении давления воздуха в резервуарах 0,65 МПа и включает при давлении воздуха в системе 0,42 МПа.

Стеклоочистители СЛ-123 (левый) и СЛ-124 (правый) предусмотрены для очистки лобовых стекол кабины в дождливую погоду, а также от мокрого снега. Комплект стеклоочистителя состоит из электродвигателя, червячного редуктора, рычажного механизма, резиновой щетки, переключателя скорости, добавочного резистора, термобиметаллического предохранителя и концевого выключателя. Все аппараты смонтированы на корпусе редуктора.

Стеклоочиститель однощеточный двухскоростной с двигателем смешанного возбуждения МЭ-221Б работает от напряжения 12 В (см. рис. 132). Червячный редуктор передает вращающий момент от двигателя на рычажный механизм пантографного типа, состоящий из двух длинных и двух коротких попарно-параллельных шарнирно соединенных рычагов. Рычаги образуют качающийся параллелограмм, который обеспечивает вертикальное расположение щетки при перемещении ее по стеклу. Благодаря этому увеличивается поверхность очистки стекла. Угол размаха щетки по мокрому стеклу $(90 \pm 8)^\circ$. Усилие нажатия щетки на стекло (40 ± 6) Н. Стеклоочиститель обеспечивает в зависимости от положения переключателя 27 или 43 двойных хода щетки в минуту. Повышенная скорость перемещения щетки достигается включением в цепь параллельной обмотки возбуждения двигателя добавочного резистора сопротивлением 25 Ом, выполненного из нихромовой проволоки, намотанной на миканитовую пластину.

Термобиметаллический предохранитель предназначен для защиты электродвигателя от перегрузки. Контакты концевого выключателя подключены параллельно переключателю стеклоочистителя. При переводе переключателя в положение «Стоп» питание электродвигателя осуществляется через контакты концевого выключателя. Как только щетки выйдут из поля зрения водителя и установятся в крайнем нижнем положении, контакты концевого выключателя разомкнутся и отключат электродвигатель стеклоочистителя.

Штангоуловители защищают контактную сеть и головки токоприемника от повреждений при сходе головки с контактного провода. На троллейбусе ЗиУ-9 применяют штангоуловители с электромоторным приводом. Основные узлы механизма штангоуловителя: основание, тормоз, инерционный механизм, барабан, двигатель, концевые выключатели, панель с аппаратурой (контак-

торы, предохранители), успокоитель горизонтальных перемещений токоприемника, блок управления и токовое реле, размещенное на реакторе помехоподавления.

Звуковой сигнал С313/С314 регулируется один среднего, второй низкого тона. Расположены они под кузовом троллейбуса и прикреплены к кронштейнам основания. Включается звуковой сигнал выключателем КЗС (см. рис. 132), установленным на колонке рулевого механизма. Оба звуковых сигнала работают одновременно. Сердечник притягивает якорь и вместе с якорем перемещается стержень мембраны, а прерыватель отводит держатель с подвижным контактом. Контакты размыкаются и разрывают цепь катушки электромагнита. При этом в цепь катушки электромагнита вводится искрогасящий резистор. Намагничивающая сила электромагнита уменьшается и стержень с якорем возвращаются в первоначальное положение под действием центрирующей пружины и из-за упругости мембраны. Контакты сигнала вновь замыкают цепь катушки электромагнита и процесс повторяется. Колебания якоря через стержень передаются на мембрану, которая превращает их в звуковые колебания частотой 235—280 Гц. Громкость звука электрического сигнала зависит от значения тока в цепи сигнала, которое в свою очередь определяется силой нажатия контактов. При увеличении тока в обмотке электромагнита увеличивается амплитуда колебания мембраны и громкость звука. Аппарат рассчитан на напряжение 24 В, потребляемый ток не более 4 А, уровень громкости не менее 108—125 дБ. Основная частота звучания сигнала С313 составляет 370—420 Гц и сигнала С314 — 440—490 Гц. Масса каждого сигнала 0,65 кг.

Громкость звука регулируют с помощью гайки-прерывателя. Высоту звука регулируют изменением натяжения центрирующей пружины, а также зазора между якорем и сердечником электромагнита. Зазор должен быть в пределах 0,7—0,8 мм, при уменьшении его высота звука повышается.

Фара ФГ-122В предназначена для освещения проезжей части. В фарах применен полуразборный оптический элемент асимметричного светораспределения с двухнитевой лампой накаливания А40.

55. СХЕМЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ НАПЯЖЕНИЕМ 24 И 12 В ТРОЛЛЕЙБУСОВ И ТРАМВАЕВ

Схемы вспомогательных цепей троллейбусов. Вспомогательное электрическое оборудование троллейбуса ЗиУ-9 получает питание от трехфазного генератора переменного тока, который работает параллельно с аккумуляторной батареей. Аккумуляторная батарея включается двухполюсным пакетным выключателем А2 типа ПВМ-2-60 на ток 60 А (рис. 132). Для защиты аккумуляторной батареи от перегрузок и коротких замыканий служит плавкий предохранитель (100 А, 220 В). В цепь генератор — реле-регулятор — аккумуляторная батарея

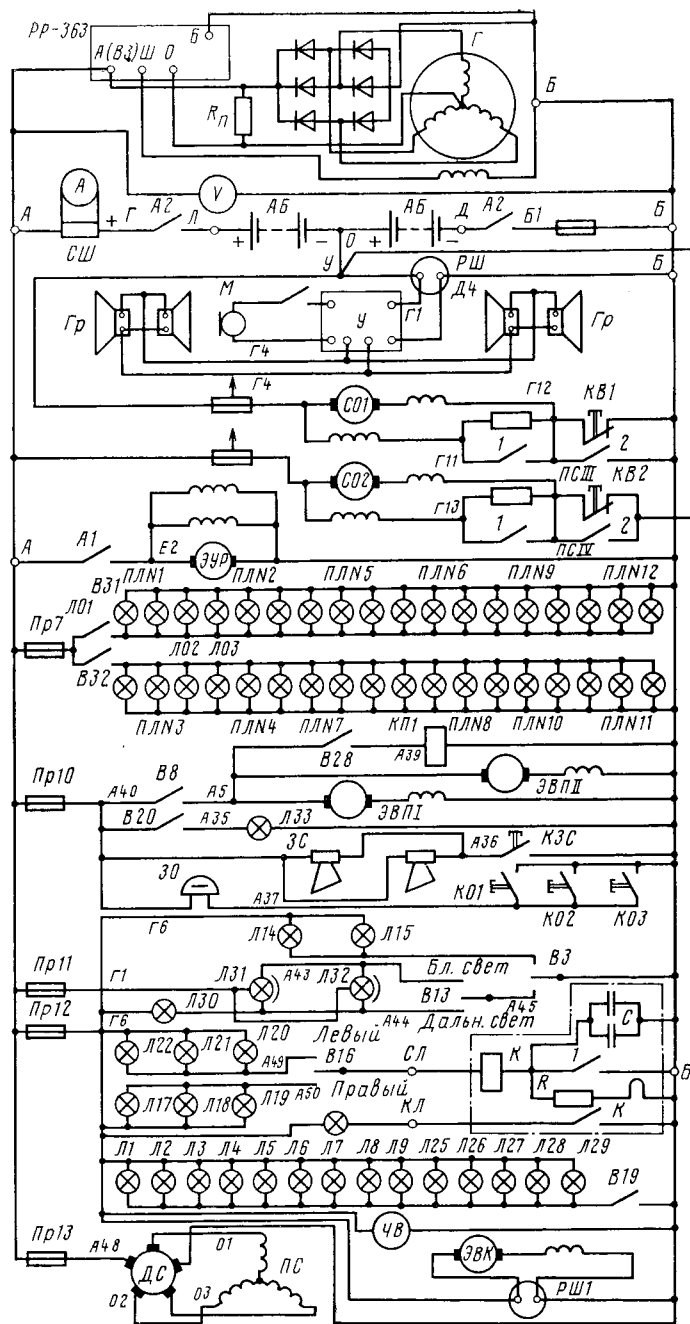


Рис. 132. Схема вспомогательных цепей напряжением 12 и 24 В троллейбуса ЗиУ-9

включены амперметр A (тип М2001 со шкалой 100-0-100) с шунтом $СШ$ и вольтметр (тип М2001 со шкалой 0-50). Все вспомогательные цепи защищены от перегрузок и коротких замыканий плавкими предохранителями, смонтированными на панели предохранителей. Цепи вспомогательного оборудования питаются напряжением 12 и 24 В.

Электрические цепи напряжением 24 В. Цепь двигателя усилителя рулевого управления включается пакетным выключателем $A1$ типа ПВМ-2-60. В качестве привода насоса гидроусилителя используют двигатель Г-732А, устанавливается он совместно с насосом на площадке перед ведомым мостом троллейбуса.

Освещение салона осуществляется 36 лампами СМ-23 (28 В, 20 Вт), установленными в 12 плафонах. Лампы включены в две группы, которые включаются выключателями $B31$ и $B32$ (тип В-45) через плавкий предохранитель $Пр7$ на 40 А. Плафоны размещены на потолке салона так, что при включении одной из групп освещенность салона остается равномерной. При включении обеих групп освещенность салона составляет около 25 лк на уровне 1 м от пола.

Электроприводом вентиляторов ЭПВ-I и ЭПВ-II электропечи служат двигатели М-233 (24 В, 25 Вт, 3000 об/мин). Цепь электропривода вентиляторов включается выключателем $B8$.

Звуковые сигналы ЗС типа С313/С314 соединены между собой параллельно и включаются кнопочным выключателем $K3C$, установленным на колонке рулевого механизма. Звуковые сигналы работают от постоянного тока номинальным напряжением 24 В.

Звонок ЗО предназначен для связи пассажиров с водителем. Включается он одним из кнопочных выключателей $KO1$, $KO2$ или $KO3$, расположенных у входных и выходных дверей троллейбуса.

Цепи электропривода вентиляторов, звуковых сигналов и звонка защищены плавким предохранителем $Пр10$ на 20 А.

На троллейбусе ЗиУ-9 применяют автомобильные фары ФГ-122В с лампами $Л31$ и $Л32$ дальнего и ближнего света, управляемые переключателем ножного действия $B13$ (тип П39 с усилием нажатия 90Н), и два подфарника $Л14$ и $Л15$, включающиеся переключателем $B3$ (тип ППН-45). Контрольная лампа $Л30$ включена в цепь фар.

Цепь фар защищена плавким предохранителем $Пр11$ на 20 А.

Лампы передних указателей поворота $Л17$, $Л22$ (тип А24-32-4), боковых $Л18$, $Л21$ и задних $Л19$, $Л20$ (тип СМ-26-10) включаются переключателем $B16$ (тип П-105), а для получения прерывистого светового сигнала о направлении поворота применен электромагнитный прерыватель РС-401. Механизм и контактная часть прерывателя размещены в металлическом корпусе цилиндрической формы.

На изоляционную панель выведены три вывода для подключения прерывателя в цепь: $СЛ$ — для подключения сигнальных ламп, $КЛ$ — для подключения контрольной лампы и $Б$ — аккумуляторной батареи. На стальной сердечнике прерывателя раз-

мещена катушка *K*. В нерабочем состоянии прерывателя контакты *I* и *K* разомкнуты. При включении переключателя *B16* ток от аккумуляторной батареи пройдет через сигнальные лампы, выключатель *B16*, катушку *K*, резистор *R* (38—40 Ом) и струну. Контакты *K* при этом включают контрольную лампочку *K*. Так как в цепь включен резистор *R*, ток и накал нитей ламп небольшой. Проходящий по струне ток вызовет ее нагрев, вследствие чего струна удлинится и позволит контактам *I* прерывателя замкнуться. Контакты *I* шунтируют резистор *R* и струну. Ток в цепи сигнальных ламп увеличится и нити ламп будут светиться полным накалом. При охлаждении струна укорачивается и снова размыкает контакты *I* прерывателя, после чего процесс повторится. Регулировку прерывателя выполняют винтом: ввинчивание винта увеличивает натяжение струны, а также зазор между контактами, якорем и сердечником, что приводит к повышению частоты мигания ламп.

Лампы габаритных фонарей *Л1-Л6* (тип СМ28-5-2), маршрутных фонарей (тип СМ-23) и лампы подсвета приборов *Л25-Л29* (тип МН26×0,12) включаются выключателем *B19*.

Часы водителя АЧГ-3 представляют собой сочетание часового механизма с электромагнитным заводом. Часы работают от аккумуляторной батареи напряжением 24 В. Подзаводится пружина автоматически через 2—4 мин. Стрелки переводятся головкой перевода с помощью гибкого валика. Суточная погрешность часов при температуре 20° С не превышает ±1,5 мин.

Цепь электропривода спидометра получает питание через плавкий предохранитель *Пр13* (2 А). Электропривод спидометра состоит из двух синхронно работающих электрических машин — датчика спидометра *ДС* типа МЭ-301Б и приемника спидометра *ПС* типа СП-120.

Цепь сигнализатора аварийного давления *ММ10* (см. рис. 83) предназначена для предупреждения водителя об уменьшении давления в пневматической системе ниже допустимого предела. Чувствительным элементом сигнализатора служит гофрированная мембрана, которая при давлении воздуха более 0,4 МПа перемещается и размыкает контакты цепи лампочки *Л44*. Техническая характеристика сигнализатора следующая: наибольшее давление сжатого воздуха 12 МПа, давление замыкания контактов *ММ* 0,4 МПа, напряжение лампы 24 В, наибольший ток 4 А, масса сигнализатора 0,13 кг.

Принципиальная схема работы штангоуловителей представлена на рис. 133. Катушка реле *P5* включена в цепь двигателя вентилятора. При включении цепи двигателя вентилятора катушка *P5* получает питание и контакты *P5* замыкаются (катушка *P5* включена в течение всего времени работы троллейбуса). После установки токоприемника на контактный провод включают штангоуловители выключателем *B21*, при этом загораются сигнальные лампы *Л53* и *Л54*. Штангоуловитель срабатывает при резком перемещении (рывком) токоприемника вверх. Инерционный выключатель,

укрепленный на барабане, замыкает свои контакты *КН1* (*КН2*) и на базу транзистора *T1* (*T2*) подается напряжение. Транзистор открывается, и через контакты *P5* ток идет в катушку контактора *P1* (*P2*). Контактор *P1* (*P2*) включает электродвигатель привода и своими блок-контактами шунтирует контакты инерционного выключателя *КН1* (*КН2*). При этом барабан, укрепленный на валу двигателя, вращается и наматывает канат, притягивая к крыше троллейбуса токоприемник. Концевой выключатель у основания токоприемника отключает двигатель и токоприемник останавливается.

Одновременно с включением контактора *P1* (*P2*) подается напряжение на катушку электромагнита *ЭМ1* (*ЭМ2*) и реле *P3* (*P4*) успокоителя. Реле *P3* (*P4*) получает питание через контакты контактора *P1* (*P2*) в промежуток времени, пока штанга движется вниз. Для принудительного снятия токоприемников с контактных проводов служит выключатель *B24* (*B25*), который выключает механизм штангоуловителя.

Механизм открывания и закрывания дверей троллейбуса ЗиУ-9 приводится в действие электродвигателями *Д1*, *Д2*, *Д3* (рис. 134), которые установлены в кожухах над дверями. В качестве двигателей привода дверей используют двигатели Г-108А. Цепи двигателей включаются силовыми контактами реле *K1—K6* (тип РС-509). Водитель управляет реле с помощью переключателей *B9*, *B10*, *B11* (тип ППН-45). От перегрузки реле защищены плавким предохранителем *Пр6* на 10 А, размещенным на панели низковольтных предохранителей. Электродвигатели *Д1*, *Д2*, *Д3* защищены предохранителями соответственно *Пр3*, *Пр4*, *Пр5* на 20 А, смонтированными на панелях совместно с реле *K1—K6* за кожухом ограждения привода дверных механизмов. В крайних поло-

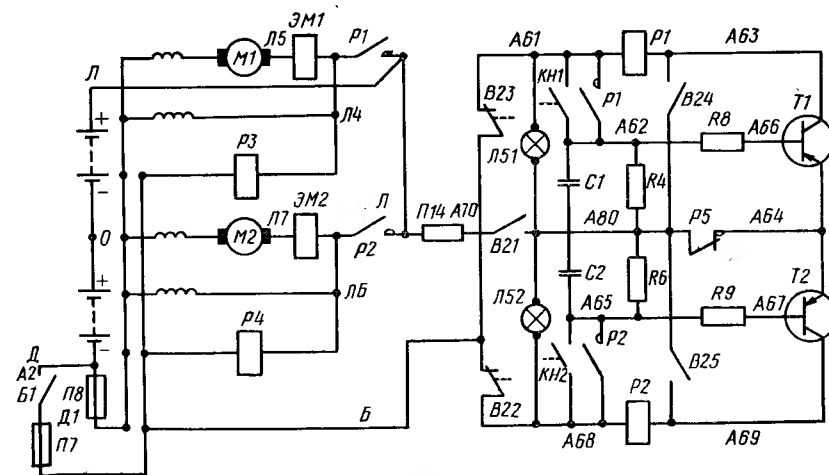


Рис. 133. Принципиальная электрическая схема штангоуловителя

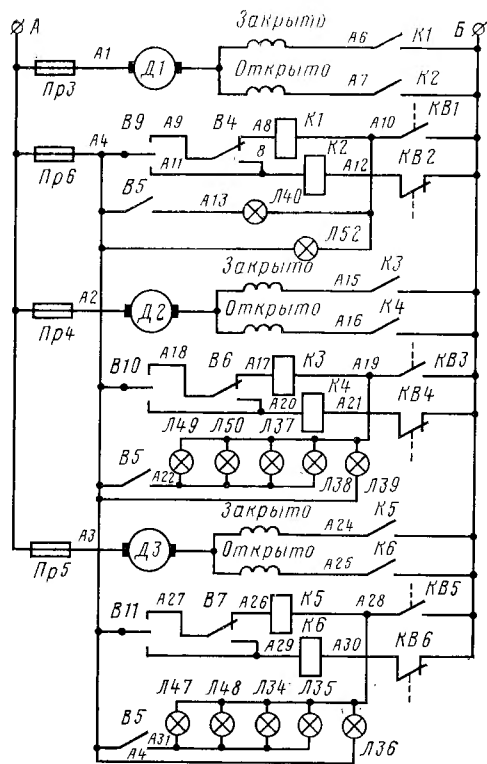


Рис. 134. Электрическая схема управления дверьми троллейбуса ЗиУ-9

KB2 разрывает цепь питания катушки реле K2, которое отключает двигатель Д1. Аналогично работает цепь при установке переключателя В9 в положение, соответствующее закрыванию двери.

На кожухах дверных механизмов передней, средней и задней дверей установлены аварийные выключатели соответственно В4, В6, В7 (тип ПП-45), предназначенные для экстренного открывания дверей из салона пассажирами.

Электрические цепи напряжением 12 В. Цепь громкоговорящего устройства АГУ-10-3 состоит из усилителя низкой частоты У, четырех громкоговорителей ГР и микрофона М. Она включается в штепсельную розетку РШ на половинное напряжение аккумуляторной батареи (см. рис. 132).

Цепи стеклоочистителей СО1 и СО2 (типы СЛ-123 и СЛ-124) включаются кнопчными выключателями KB1 и KB2 и от перегрузки предохраняются термобиметаллическими предохранителями.

Схемы вспомогательных цепей трамваев. Цепи электроприводов дверей. В качестве электроприводов дверей на вагоне КТМ-5М-3 используют двигатели Г-108Г. Работа электр-

жениях дверей (дверь открыта или закрыта) питание втягивающих катушек реле K1—K6 прерывается концевыми выключателями KB1—KB6 (тип КЭ-42).

При установке переключателя, например В9, в положение, соответствующее открыванию двери, на катушку реле K2 подается питание по цепи Пр6—В9—K2—KB2. При возбуждении катушки контакты реле K2 замыкаются и включают двигатель Д1. Ток в двигателе идет по цепи Пр3—Д1—обмотка возбуждения «Открыто»—K2 и двигатель вращается в направлении открывания двери, а рычаг привода отходит от концевого выключателя KB1, который под действием пружины замыкается и одновременно при полностью открытой двери рычаг привода воздействует на концевой выключатель KB2, размыкая его. Концевой выключатель

ческой схемы привода дверей вагона КТМ-5М-3 аналогична рассмотренной ранее работе схемы троллейбуса ЗиУ-9.

В электрическую схему привода дверей вагона Т-3 входят: контакторы RH1 и RH2 (см. рис. 89), имеющие размыкающие и замыкающие контакты в цепи двигателей DM1 и DM2, резисторы RD1, RD2, выключатели управления дверьми VDR1, VDR2 и концевые выключатели DK1, DK2. Цепи электродвигателей получают питание через плавкий предохранитель на 10 А. При повороте выключателя VDR1 вправо по проводу 247 и диод получает питание катушка контактора RH1. Замыкающие RH1 в цепи обмотки возбуждения «Открыто» замыкаются и двигатель DM1 получает питание от провода 201 через цепь: предохранитель—RD1—RH1—DK1—обмотку возбуждения «Открыто»—двигатель DM1. Двигатель будет вращаться в сторону открывания передней двери. При полностью открытой двери размыкаются контакты концевого выключателя DK1 в цепи обмотки возбуждения «Открыто» и замыкаются контакты DK1 в цепи обмотки возбуждения «Закрывается». При возвращении выключателя VDR1 в среднее положение отключается катушка контактора RH1 и замыкаются размыкающие контакты RH1 в цепи обмотки возбуждения «Закрывается», двигатель будет вращаться в сторону закрывания двери.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаревский Д. И., Черток М. С., Пономарев А. А. Трамвайные вагоны РВЗ-6М-2 и КТМ-5М-3. М.: Транспорт, 1975. 253 с.
2. Дорогуш Г. И. Электродвигатели трамвая и троллейбуса. М.: Энергия, 1964. 64 с.
3. Ефремов И. С., Косарев В. Г. Теория и расчет электрооборудования подвижного состава городского транспорта. М.: Высшая школа, 1976. 473 с.
4. Иванов М. Д., Алпаткина А. П., Иеропольский Б. К. Устройство и эксплуатация трамвая. М.: Высшая школа, 1977. 269 с.
5. Иванов М. Д., Пономарев А. А., Иеропольский Б. К. Трамвайные вагоны Т-3. М.: Транспорт, 1977. 237 с.
6. Иоффе А. Б. Тяговые электрические машины. М.: Энергия, 1965. 232 с.
7. Коган Л. Я., Корягина Е. Е., Белостоцкий И. А. Устройство и эксплуатация троллейбуса. М.: Высшая школа, 1978. 334 с.
8. Косарев Г. В., Коськин О. А. Особенности расчета пусковых характеристик тиристорного преобразователя с общим узлом коммутации регуляторов напряжения и поля тяговых электродвигателей. — Тр. МЭИ, 1975, вып. 236, с. 25—30.
9. Коськин О. А., Чабунин Г. И. Эффективность применения сглаживающего трансформатора в двухфазном тиристорном регуляторе. — Тр. МЭИ, 1976, вып. 356, с. 68—71.
10. Пролыгин А. П., Рабинович А. А. Электрооборудование подвижного состава городского электрифицированного транспорта. М.: Энергия, 1973. 346 с.
11. Рабинович А. А. Тяговые электродвигатели для городского электротранспорта. М.: Стройиздат, 1965. 299 с.
12. Резник М. Я., Кулаков Б. М. Трамвайный вагон ЛМ-68. М.: Транспорт, 1977. 189 с.
13. Троллейбус пассажирский ЗиУ-682Б / Г. В. Вишняк, В. И. Шабалин, И. Г. Осипов и др. М.: Транспорт, 1977. 206 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От авторов	3	28. Аппараты защиты от атмосферных перенапряжений	120
ГЛАВА I. ТЯГОВЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ	4	29. Защита радиоприема от помех, вызываемых электрическим оборудованием подвижного состава	122
1. Общие сведения и технические характеристики электрических машин постоянного тока	4	ГЛАВА VI. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ	124
2. Характеристики тяговых двигателей	9	30. Характеристика систем управления	124
3. Конструкция электродвигателей	12	31. Регулирование напряжения на тяговых двигателях при реостатном пуске	127
4. Вспомогательные электрические машины на напряжение 550 В	24	32. Регулирование возбуждения тяговых двигателей при пуске	133
5. Вспомогательные электрические машины на напряжение 24 и 12 В	26	33. Электрическое торможение	136
6. Генераторы собственных нужд	28	34. Тормозные характеристики и схемы реостатного торможения	137
7. Обслуживание электрических машин	31	ГЛАВА VII. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ТРОЛЛЕЙБУСОВ С КОСВЕННОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ	144
ГЛАВА II. ТОКОПРИЕМНИКИ	33	35. Электрическая схема троллейбуса 9Тр	144
8. Характеристики токоприемников	33	36. Электрическая схема троллейбуса ЗиУ-9	151
9. Конструкция токоприемников и их обслуживание	35	ГЛАВА VIII. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ТРАМВАЙНЫХ ВАГОНОВ С КОСВЕННОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ	163
ГЛАВА III. РЕОСТАТЫ И РЕЗИСТОРЫ	53	37. Электрическая схема вагона РВЗ-6М-2	163
10. Пускотормозные реостаты	53	38. Электрическая схема вагона КТМ-5М-3	171
11. Регулировочные реостаты и индуктивные шунты	55	39. Электрическая схема вагона Т-3	182
ГЛАВА IV. КОММУТАЦИОННЫЕ АППАРАТЫ С ИНДИВИДУАЛЬНЫМ И ГРУППОВЫМ ПРИВОДОМ	59	ГЛАВА IX. ИМПУЛЬСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ	193
12. Контактные соединения, контактные материалы	59	40. Общие сведения	193
13. Способы гашения электрической дуги	61	41. Импульсное регулирование напряжения на тяговых двигателях при пуске	195
14. Расчет обмоток электромагнита	64	42. Импульсное регулирование напряжения на тяговых двигателях при торможении	202
15. Электромагнитные контакторы	67	43. Тиристорно-импульсное регулирование возбуждения тяговых двигателей	208
16. Устройство и компоновка контакторных панелей	73	44. Сглаживающие устройства в системах с тиристорно-импульсным управлением	214
17. Групповые аппараты	75	45. Схемы тиристорных прерывателей	224
18. Контроллеры косвенного управления подвижным составом	79	46. Защита силовых полупроводниковых приборов в тиристорных регуляторах	232
19. Групповые реостатные контроллеры	89	47. Принципы построения схем управления тиристорных регуляторов	236
20. Ускоритель вагона Т-3	94		
21. Реверсивные переключатели	97		
22. Отключатели тяговых двигателей	98		
23. Обслуживание групповых аппаратов	100		
ГЛАВА V. РЕЛЕ УПРАВЛЕНИЯ И АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ	101		
24. Реле автоматического пуска и торможения	101		
25. Реле управления	106		
26. Аппараты токовой защиты	112		
27. Аппараты защиты по напряжению	119		

**ГЛАВА X. КОНСТРУКЦИЯ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПОД-
ВИЖНОГО СОСТАВА С ТИРИ-
СТОРНО-ИМПУЛЬСНЫМ УПРАВ-
ЛЕНИЕМ 238**

48. Конструкция электрооборудо-
вания 238
49. Электрические схемы вагона
РВЗ-7 с тиристорно-импульс-
ным управлением 243
50. Электрическая схема электрон-
ного блока управления вагона
РВЗ-7 259

**ГЛАВА XI. ВСПОМОГАТЕЛЬ-
НЫЕ ЦЕПИ ПОДВИЖНОГО СО-
СТАВА 269**

51. Электрические цепи напряжени-
ем 550 В 269
52. Аккумуляторные батареи . . . 275
53. Реле-регуляторы 279
54. Электрооборудование напряже-
нием 24 и 12 В 285
55. Схемы вспомогательных цепей
напряжением 24 и 12 В трол-
лейбусов и трамваев 287
- Список литературы 294

*Елена Ефстафиевна Корягина,
Олег Алексеевич Коськин*

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТРАМВАЕВ И ТРОЛЛЕЙБУСОВ

Редактор С. А. Каткова

Переплет художника Ю. Н. Егорова

Технический редактор Г. П. Федорова

Корректор-вычитчик Е. А. Котляр

Корректор В. Н. Яговкина

ИБ № 1323

Сдано в набор 26.11.81. Подписано в печать 06.04.82. Т-09007

Формат 60×90^{1/16}. Бум. тип. № 2. Гарнитура литературная. Высокая печать.

Усл. печ. л. 18,5. Усл. кр.-отг. 18,69. Уч.-изд. л. 20,70. Тираж 11 000 экз. Заказ 636

Цена 75 коп. Изд. № 1-1/2/5 № 9264

Издательство «ТРАНСПОРТ», 107174, Москва, Басманный туп., 6а

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
129041, Москва, Б. Переяславская ул., 46